-12 3218

Серія докторскихъ диссертацій, допущенныхъ къ защитѣ въ Императорской Военно-Медицинской Академіи въ 1902—1903 уч. году.

№ 94.

ОЧЕРКЪ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХЪ ЯВЛЕНІЙ НА ЖИВЫХЪ ТКАНЯХЪ

СЪ ТОЧКИ ЗРѢНІЯ НОВѢЙШИХЪ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХЪ ТЕОРІЙ.

Выпускъ I.

Электромоторная дѣятельность мышцъ и железъ, электрическіе органы рыбъ и электрическіе токи растеній.

ДИССЕРТАЦІЯ

НА СТЕПЕНЬ ДОКТОРА МЕДИЦИНЫ

В. Ю. Чаговца.

63999

Цензорами диссертаціи, по порученію Конференціи, были: профессоры **А. П. Діанинъ** и **И. П. Павловъ** и И. д. профессора **С. Я. Терешинъ**.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Типографія Главнаго Управленія Удѣловъ, Моховая, 40.
1903.

Серія докторскихъ диссертацій, допущенныхъ къ защитѣ въ Императорской Военно-Медицинской Академіи въ 1902—1903 уч. году.

№ 94.

7 - НОЯ 2012

612.014
Ч-12

ОЧЕРКЪ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХЪ ЯВЛЕНІЙ НА ЖИВЫХЪ ТКАНЯХЪ

СЪ ТОЧКИ ЗРѢНІЯ НОВѢЙШИХЪ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХЪ ТЕОРІЙ.

БІБЛІОТЕКА
Харківського Медич. Інституту
№ 5218
Шифр 4-12

Выпускъ I.

Электромоторная дѣятельность мышцъ и железъ, электрическіе органы рыбъ и электрическіе токи растеній.

ПЕРЕВІР НО
1936

ДИССЕРТАЦІЯ
НА СТЕПЕНЬ ДОКТОРА МЕДИЦИНЫ

В. Ю. Чаговца.

Цензорами диссертаціи, по порученію Конференціи, были: профессоры **А. П. Діанинъ** и **И. П. Павловъ** и И. д. профессора **С. Я. Терешинъ.**

Инв. № НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА 1-го Харьк. Мед. Института

Переучет 1966 г.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Типографія Главнаго Управленія Удѣловъ, Моховая, 40.
1903.

1950

Переучет-60

7 - НОЯ 2012

Докторскую диссертацію лекаря Василія Юрьевича Чаговца подъ заглавіемъ: „Очеркъ электрическихъ явленій на живыхъ тканяхъ съ точки зрѣнія новѣйшихъ физико-химическихъ теорій"—печатать разрѣшается съ тѣмъ, чтобы по отпечатаніи было представлено въ Конференцію ИМПЕРАТОРСКОЙ Военно-Медицинской Академіи 400 экземпляровъ этой диссертаціи (125 экземпляровъ диссертаціи и 300 отдѣльныхъ оттисковъ краткаго резюмэ (выводовъ) ея представляются въ Конференцію, а 275 экземпляровъ диссертаціи — въ академическую библіотеку).

С.-Петербургъ, мая 3 дня 1903 года.

Ученый Секретарь, Ординарный профессоръ *В. Діанинъ.*

63999

Въ настоящихъ очеркахъ изложены результаты изслѣдованій, начатыхъ мною еще въ годы студенчества въ лабораторіи проф. И. Р. Тарханова. Заинтересовавшись съ самаго начала электрофизіологіей и занявшись, по предложенію Ивана Романовича, изученіемъ вліянія различныхъ ядовъ на электромоторную силу мышечныхъ токовъ лягушки, я сталъ въ то же время знакомиться, для своей цѣли, съ только что утвердившими въ ту пору права гражданства въ наукѣ физико-химическими взглядами на природу электрическаго тока, и такъ какъ прошедшее десятилѣтіе въ исторіи физико-химіи было особенно богато открытіями изъ этой области,—открытіями, которыя совсѣмъ не были еще использованы и примѣнены въ другихъ родственныхъ имъ наукахъ, и въ томъ числѣ физикѣ живого организма—физіологіи, то я легко могъ убѣдиться, какую громадную цѣну имѣетъ для нашей науки матеріалъ, добытый физиками и химиками.

Тогда же мною была сдѣлана попытка примѣнить новые взгляды для объясненія нѣкоторыхъ фактовъ изъ области электрофизіологіи, которые или совсѣмъ не могли быть объяснены при помощи имѣвшихся до того времени данныхъ о сущности электролитическаго процесса, или требовали очень запутанныхъ и сложныхъ теорій, и которые, однако, легко укладываются въ рамки новыхъ электрохимическихъ воззрѣній. Результаты своихъ изслѣдованій въ этомъ направленіи были сообщены мною сначала въ Химическомъ Обще-

ствѣ при С.-Петербургскомъ Университетѣ (въ маѣ 1896 г.), а затѣмъ въ научныхъ собраніяхъ врачей клиники душевныхъ и нервныхъ болѣзней Военно-Медицинской Академіи (въ декабрѣ 1896 г.), и напечатаны въ видѣ отдѣльныхъ статей въ Журналѣ Русскаго Физико-Химическаго Общества (Т. XXVIII, №№ 5 и 7, стр. 430—432 и 657—663, 1896 г.; реф. въ Zeitshr. für physik. Chemie, Bd. 23, SS. 558—559, 1897 г.), и болѣе подробно—въ Неврологическомъ Вѣстникѣ (Т. VI, Вып. I, стр. 173—188 и вып. II, стр. 1—24, 1898 г.).

Добытые мною результаты нѣсколько заинтересовали въ то время только химиковъ, со стороны же физіологовъ и врачей они прошли почти совершенно незамѣченными. Теперь, получивши послѣ почти четырехлѣтняго перерыва снова возможность приступить къ лабораторнымъ занятіямъ, я могъ убѣдиться, что вопросъ, надъ которымъ я работалъ семь лѣтъ тому назадъ, обратилъ на себя уже общее вниманіе физіологовъ, и почти каждая книжка заграничныхъ физіологическихъ журналовъ содержитъ что-нибудь новое по этому предмету. Поэтому дѣлаемая мной попытка изложить въ связномъ видѣ тѣ выводы относительно главнѣйшихъ явленій электрофизіологіи, къ которымъ былъ я приведенъ, пользуясь новѣйшими физико-химическими данными, едва-ли нуждается въ особомъ оправданіи, и я дѣлаю ее съ тѣмъ большею смѣлостью, что результаты, полученные спеціалистами на Западѣ относительно кардинальнаго вопроса предлагаемаго изслѣдованія—роли іоновъ при возникновеніи электрическихъ токовъ живыхъ тканей, сопровождающихъ различныя проявленія ихъ жизнедѣятельности, вполнѣ совпадаютъ съ тѣми, на которые я указывалъ въ вышеназванныхъ своихъ работахъ, являясь во многихъ случаяхъ ихъ повтореніемъ.

Предлагаемый выпускъ содержитъ въ себѣ обзоръ электрическихъ феноменовъ, обнаруживаемыхъ при различныхъ условіяхъ жизнедѣятельности тканями мышечной и железистой, растеніями и электрическими рыбами. Основныя положенія, касающіяся электромоторной дѣятельности мышцъ были опубликованы уже раньше въ упомянутыхъ моихъ статьяхъ, остальныя являются въ систематическомъ видѣ въ печати впервые, и были только сообщены мною въ мартѣ прошлаго года въ собраніи врачей клиники душевныхъ и нервныхъ болѣзней. Второй выпускъ будетъ заключать электрофизіологію нервнаго процесса и вопросъ о роли іоновъ при возбужденіи живой ткани и проведеніи раздраженія, и вмѣстѣ съ тѣмъ разсмотрѣніе различныхъ случаевъ примѣненія при этомъ логариѳмическаго закона,—въ томъ приблизительно порядкѣ, какъ это было сдѣлано мною въ прежнихъ работахъ, и въ особенности въ вышеупомянутой статьѣ въ Неврологическомъ Вѣстникѣ, — а также общій обзоръ роли электрическихъ феноменовъ въ экономіи живого организма.

Изложеннымъ выше опредѣляется характеръ всей моей книги. Я вовсе не ставилъ себѣ цѣлью, какъ это можетъ показаться, опровергнуть существующія теперь электрофизіологическія теоріи, чтобы выдвинуть на ихъ мѣсто новую. Прогрессъ науки состоитъ не въ томъ, что одна теорія смѣняетъ другую, а въ постепенной эволюціи одной и той же теоріи, одной и той же научной идеи. Эта идея есть идея о единствѣ силъ природы и тожественности законовъ, управляющихъ живою и мертвою матеріею, за которую уже давно боролись лучшіе борцы науки, и которую въ столь возвышенной и прекрасной формѣ передалъ Дю-Буа Реймонъ въ предисловіи къ своимъ

знаменитымъ «Изслѣдованіямъ». Дю-Буа Реймонъ первый послѣдовательно провелъ этотъ принципъ въ электрофизіологіи и тѣмъ ввелъ эту отрасль естествознанія въ семью точныхъ наукъ. Въ этомъ его важнѣйшая и безсмертная заслуга передъ нашей наукой. И подобно тому, какъ заслуги Коперника или Ньютона ни мало не уменьшились отъ того, что мы теперь представляемъ себѣ движеніе планетъ вокругъ солнца вовсе не такимъ правильнымъ круговымъ вращеніемъ, какъ представлялъ его себѣ Коперникъ, или что въ настоящее время можно указать на нѣкоторыя уклоненія отъ закона тяготѣнія, выведеннаго Ньютономъ, такъ не могутъ умалить и заслугъ творца современной электрофизіологіи Дю-Буа Реймона и его продолжителей тѣ усовершенствованія, которыя должны быть внесены въ выработанные ими взгляды, благодаря новымъ открытіямъ въ области электрохиміи.

Всякая научная теорія должна только выражать собой состояніе научной мысли въ данную эпоху, и отъ ея автора можно требовать только того, чтобы онъ сдѣлалъ правильные выводы изъ имѣющихся въ его распоряженіи фактовъ, и не его вина, если ихъ не хватаетъ для заполненія всѣхъ пробѣловъ. Забвеніе этихъ основныхъ правилъ научнаго изслѣдованія всегда приводило къ печальнымъ недоразумѣніямъ, которыми такъ богата исторія многихъ наукъ, и которыя выразились и въ исторіи нашей двумя продолжительными и упорными спорами: при самомъ зарожденіи электрофизіологіи — между Гальвани и Вольта, и въ наше время—между Дю-Буа Реймономъ и Германомъ, разсмотрѣнію которыхъ именно съ указанной точки зрѣнія посвящена первая глава нашихъ очерковъ.

Въ намѣченной цѣли я старался не выходить изъ рамокъ вышеизложеннаго, и ставилъ своей задачею только показать, какъ могутъ и должны быть измѣнены существующія нынѣ электрофизіологическія воззрѣнія, въ виду новыхъ фактовъ, добытыхъ электрохиміей, не беря на себя обязанности отвѣчать на тѣ вопросы, для рѣшенія которыхъ мы попрежнему не имѣемъ еще достаточныхъ данныхъ. Изъ послѣдующаго изложенія видно, что я даже не взялъ на себя окончательно рѣшить вопросъ о томъ, какое именно изъ химическихъ веществъ, являющихся при распаденіи живой протоплазмы, служитъ источникомъ электромоторной дѣятельности ея, ограничиваясь только предположеніемъ, что это должно быть одно изъ производныхъ угольной кислоты. И если-бы мнѣ сдѣлали упрекъ, что благодаря этой неопредѣленности проводимая мною теорія диффузіоннаго происхожденія электрической дѣятельности живыхъ тканей теряетъ въ наглядности и становится, быть можетъ, нѣсколько расплывчатой, то я могъ бы отвѣтить на это словами Г. Герца: Wünscht man der Theorie mehr Farbe zu verleihen, so ist nichts im Wege, dass man noch nachträglich der Einbildungskraft zu Hilfe komme durch concrete sinnliche Vorstellungen von dem Wesen der elektrischen Polarisation, des elektrischen Stromes u. s. w. Aber die Strenge der Wissenschaft erfordert doch, dass wir dies bunte Gewand, welches wir der Theorie überwerfen und dessen Schnitt und Farbe vollständig in unserer Gewalt liegt, wohl unterscheiden von der einfachen und schlichten Gestalt selbst, welche die Natur uns entgegenführt und an deren Formen wir aus unserer Willkür nichts zu ändern vermögen. (Ges. Werke, Bd. II, S. 31).

Заканчивая свою работу, я приношу глубокую мою благодарность академику И. Р. Тарханову, пер-

вому моему руководителю на научномъ пути, и профессору И. П. Павлову, подъ прямымъ вліяніемъ котораго окончательно сложилось мое физіологическое мышленіе,—за то неизмѣнное расположеніе и участіе ко мнѣ и моей работѣ, которое они всегда мнѣ выказывали во время моихъ занятій въ лабораторіи. Искреннѣйшую мою признательность и глубочайшую благодарность прошу я также принять многоуважаемаго В. И. Вартанова, ассистента при кафедрѣ физіологіи Военно-Медицинской Академіи и нынѣ профессора Женскаго Медицинскаго Института, который, не щадя ни времени, ни труда, никогда въ продолженіе нѣсколькихъ лѣтъ занятій моихъ въ лабораторіи не отказывалъ мнѣ въ своей помощи и совѣтомъ, и дѣломъ, и безъ содѣйствія котораго мнѣ весьма трудно было бы привесть къ концу мою работу.

Глава I.

Краткій историческій обзоръ.

Если судить по времени, которое прошло съ тѣхъ поръ, какъ впервые былъ поднятъ вопросъ о животномъ электричествѣ, то электрофизіологія могла бы насчитать за собой болѣе полутораста лѣтъ существованія. Уже въ 1743 году Гаузенъ высказалъ мысль, что дѣйствующее въ нервѣ начало есть электричество [1]), т. е. высказалъ предположеніе, которое и по настоящее время ожидаетъ еще доказательства. Около того же времени (1751) Адансонъ приписалъ оглушающее дѣйствіе электрическаго ската также электричеству [2]).

Во второй половинѣ прошлаго столѣтія писались цѣлые томы о животномъ электричествѣ, объ электризаціи людей, животныхъ и даже деревьевъ, о вліяніи электричества на теченіе различныхъ болѣзней etc. etc. Но то, что понималось подъ словомъ животное электричество въ этихъ книгахъ, въ громадномъ большинствѣ случаевъ не имѣло ничего общаго съ электричествомъ въ истинномъ смыслѣ слова, а представляло самую антинаучную смѣсь явленій изъ области гипнотизма и просто шарлатанства. А остроумную догадку Гаузена можно съ полнымъ правомъ поставить на одну доску съ догадкой, напримѣръ, Теренція Варрона и Лукреція, которые съ такою же увѣренностью приписываютъ распространеніе заразныхъ

[1]) E. du Bois-Reymond. Untersuchungen über thierische Elektricität. Bd. II, 1. Abth. Berlin. 1849. S. 210.

[2]) E. du Bois-Reymond. Gesammelte Abhandlungen zur allgemeine Muskel-und Nervenphysik. Bd. II. Berlin. 1877. S. 622, и Untersuchungen u. s. w. II (1), S. 216.

болѣзней мельчайшимъ существамъ, носящимся въ воздухѣ, какъ то сдѣлалъ 30 лѣтъ тому назадъ Пастеръ [1]).

Единственнымъ точнымъ фактомъ, которымъ обладала въ то время электрофизіологія былъ тотъ, что разрядъ электрической машины, проходя чрезъ тѣло человѣка или животнаго, производитъ физіологическое дѣйствіе, сходное иногда съ нормальной физіологической функціей органа, напр. сокращеніе мышцъ. Но на одномъ этомъ камнѣ можно было бы строить какіе угодно воздушные замки, но нельзя было заложить фундамента точной науки. Что же касается до способности животныхъ производить электрическую энергію въ самихъ себѣ, то много писали о способности нѣкоторыхъ людей давать изъ себя электрическія искры и т. п., но никому не удалось съ несомнѣнностью доказать фактъ подобнаго рода. И только по отношенію къ удару электрическихъ рыбъ удалось съ научной точностью доказать полную аналогію его съ разрядомъ лейденской банки (Кавендишъ 1776. Вилліамсонъ 1773. Вальшъ (Walsh) 1772).

Прочное начало вполнѣ научному развитію ученія о животномъ электричествѣ можно считать положеннымъ только въ

[1]) Ср. В. Подвысоцкій. Основы общей патологіи, ч. II, стр. 84. 1894 г. Замѣчательно, что Гаузенъ, трактуя нервную сущность, какъ электричество, высказываетъ мнѣніе, что всѣ физическія силы: электричество, свѣтъ и проч. ея даже магнетизмъ» происходятъ изъ одного источника: «Quodsi licet suspicari, non verebor dicere, mihi haud parum verisimile videri firmitatem et fluiditatem, elaterem, densitatem, lucem, sonum, calorem, electricitatem, et fortasse Magnetismum, ab uno eodemque fluido pendere, in quo haerent corpora omnia... Imo si ex sanguine posset secerni magna copia hoc fluidum, fungeretur illud fortasse officio spiritum animalium». Novi Profectus in Historia Electricitatis. Lipsiae 1743. p. 47. Вопросъ о связи между жизненными явленіями и электричествомъ вплоть въ то время, такъ сказать, въ воздухѣ, и какія неумѣренныя требованія предъявлялись тогда къ электричеству, видно изъ этого отрывка принадлежащаго перу де Соважа (des Sauvages): «Le fluide nerveux n'est-il pas poussé dans les nerfs avec vitesse suffisante pour les échauffer, et mettre en jeu l'électricité des fibres et la leur propre? Par cette électricité, ne se peut-il pas que les fibres nerveuses se froncent, et raccourcissent le muscle entier, sans augmenter son volume? Ne pourrait-on pas déduire certaines antipathies morales ou aversions qu'on a pour certains aliments, certaines odeurs, de l'ébranlement que l'atmosphère électrique de ces corps peut causer aux fibres nerveuses? etc». (Du Bois-Reym. Loco cit. S. 212).

1791 году. Въ этомъ году [1]) появилось знаменитое сообщеніе Гальвани «De viribus Electricitatis in motu musculari Commentarius», надѣлавшее много шуму и давшее, благодаря возгорѣвшейся изъ за него полемикѣ, сильный толчекъ дальнѣйшему развитію электрофизіологіи, какъ точной науки.

Сущность открытія Гальвани заключается, какъ извѣстно, въ сдѣланномъ имъ наблюденіи, что если соединить сѣдалищный нервъ и нижній конецъ отпрепарованной лягушечьей лапки посредствомъ металлической проводящей дуги, то мышцы ея сокращаются въ моментъ соединенія, точно такъ же, какъ если бы черезъ лапку былъ пропущенъ разрядъ лейденской банки или электрической машины. Стараясь объяснить это явленіе, Гальвани, дѣйствительно, и приходитъ къ тому заключенію, что мышца представляетъ по существу не что иное, какъ лейденскую банку, наружная поверхность которой заряжена отрицательнымъ, а внутренняя—положительнымъ электричествомъ, а нервъ есть кондукторъ этой банки; движеніе происходитъ тогда, когда при посредствѣ нерва оба электричества соединяются [2]).

Открытіе Гальвани произвело цѣлую бурю въ ученомъ мірѣ Европы. «Физіологи думали, что завѣтная ихъ мечта о жизненной силѣ у нихъ въ рукахъ. Врачи считали, что послѣ этого ни одной неизлѣчимой болѣзни существовать не можетъ, и, по крайней мѣрѣ, ни одинъ мнимоумершій не будетъ похороненъ заживо» [3]). Не было ни одного натуралиста, ни одной лабораторіи въ Европѣ, гдѣ бы опытъ Гальвани не изучался и не повторялся на разные лады.

Изученіемъ этого вопроса занялся, между прочимъ, и Вольта, уже въ то время извѣстный профессоръ физики въ Павіи, о которомъ вскорѣ утвердилось мнѣніе, какъ объ убѣжденномъ и рьяномъ противникѣ животнаго электричества. Однако это, какъ сейчасъ увидимъ, не совсѣмъ правильно. Въ концѣ концовъ, «отрицаніе животнаго электричества», которое ему такъ охотно приписывается, сводилось только на нежеланіе признать за животнымъ электричествомъ какой-то специфиче-

[1]) Du Bois-Reymond. Untersuchungen u. s. w. Bd. I, S. 33.

[2]) Ibidem, S. 49.

[3]) Ibidem S. 50—51.

ской природы, чуждой другимъ источникамъ электричества изъ неорганическаго міра. Но Вольта никогда не отрицалъ (по крайней мѣрѣ въ разгарѣ его спора съ Гальвани, когда предметъ спора былъ уже достаточно выясненъ) у живой ткани способности производить при извѣстныхъ условіяхъ электричество и не оспаривалъ значенія его въ экономіи животнаго организма.

Вольта началъ съ изученія различныхъ условій, оказывающихъ вліяніе при производствѣ опыта Гальвани. Уже Гальвани замѣтилъ, что сокращенія лапки происходятъ гораздо легче и энергичнѣе, если половинки дуги, соединяющей нервъ съ мышцей, составлены изъ двухъ различныхъ металловъ. Но онъ не придалъ этому обстоятельству надлежащаго значенія и считалъ, что во всякомъ случаѣ источникомъ электричества является здѣсь живая ткань. Вольта же, открывшій въ то время свой замѣчательный законъ контакта и доказавшій, что достаточно соприкосновенія двухъ разнородныхъ металловъ, чтобы они зарядились противоположными электричествами и стали благодаря этому сами источникомъ электрической энергіи, объяснилъ, такимъ образомъ, почему сокращенія лапки лягушки сильнѣе, когда дуга состоитъ изъ двухъ металловъ; но при этомъ онъ нисколько не отрицалъ и существованія собственно животнаго электричества, которое вызывало сокращеніе при дугѣ изъ одного металла [1]).

Однако очень скоро, продолжая свои изслѣдованія, Вольта пришелъ къ заключенію, что не только неоднородность металловъ дуги вліяетъ на силу сокращеній, но что достаточно только самой незамѣтной разницы въ чистотѣ металла на ея концѣ, различія въ полировкѣ или въ формѣ поверхностей, соприкасающихся съ живой тканью, ихъ температуры и т. д. чтобы сокращенія значительно усилились [2]). Отсюда оставалось сдѣлать только одинъ шагъ до полнаго отрицанія всякаго участія живой ткани въ производствѣ электрическаго тока, заставляющаго сокращаться лапку лягушки. Этотъ шагъ Вольта

[1]) «...L'électricité animale naturelle et proprement organique subsiste et ne peut pas être renversée entièrement». D. Bois-Reym. Op. cit. S. 55.

[2]) Ibidem. S. 58.

и не замедлилъ сдѣлать, онъ сталъ совершенно отрицать способность нерва или мышцы *вырабатывать въ себѣ* электричество, и приписалъ ее, при опытѣ Гальвани, исключительно неоднородности дуги или ея концовъ, какъ бы ни была она незначительна и незамѣтна.

Въ этотъ моментъ Вольта, дѣйствительно, является полнымъ отрицателемъ животнаго электричества. Но уже очень скоро онъ долженъ былъ сдѣлать значительныя уступки Гальвани. Въ 1793 году этотъ послѣдній опубликовалъ свои работы надъ такъ называемымъ сокращеніемъ безъ металловъ. Онъ доказалъ, что металлическая соединительная дуга между мышцей и нервомъ не только можетъ быть замѣнена какимъ-нибудь влажнымъ проводникомъ, напр. растворомъ соли, но можно даже обойтись совсѣмъ безъ нея: достаточно перегнуть лапку такимъ образомъ, чтобы конецъ ея пришелъ въ соприкосновеніе съ концомъ нерва, и сокращеніе получится [1]). Правда, Вольта сейчасъ же возразилъ на это, что въ неоднородности частей, составляющихъ нервномышечный препаратъ лапки, уже дано условіе для возникновенія электрическаго тока, но, приходя къ такому заключенію, онъ тѣмъ самымъ уже дѣлалъ шагъ къ признанію за живой тканью способности становиться при извѣстныхъ условіяхъ источникомъ электричества, т. е., другими словами, къ признанію «животнаго электричества».

Однако примиреніе не состоялось и на этой почвѣ. Гальвани и ортодоксальные гальванисты непремѣнно хотѣли видѣть въ животномъ электричествѣ нѣчто sui generis, независимое отъ какихъ-нибудь процессовъ матеріальнаго характера, совершающихся въ веществѣ нерва или мускула. Полемика продолжалась съ энергіей и настойчивостью, достойной лучшей участи, писались цѣлые трактаты и книги за и противъ животнаго электричества. Однако почва, на которой велся самый споръ, была очень ограничена и крайне односторонняя. Гальвани и его ученики изощряли остроуміе надъ изобрѣтеніемъ цѣлаго ряда опытовъ, гдѣ неоднородность замыкающей дуги должна была быть совсѣмъ устранена, — замыканіе по-

[1]) Ibidem, SS. 62 и 63.

с редствомъ химически чистыхъ металловъ, угля, ртути (Альдини), наконецъ совсѣмъ безъ металловъ (Гальвани) [1]). Вольтанисты же на всѣ эти доводы стереотипно возражали, что обыкновенно употребляемые способы очистки металловъ не служатъ еще гарантіей ихъ абсолютной чистоты въ химическомъ смыслѣ, что достаточно слѣдовъ другого металла, чтобы могъ возникнуть токъ etc. Наконецъ, когда Гальвани было открыто сокращеніе безъ металловъ,— Вольта сталъ учить, что и при соприкосновеніи неметаллическихъ частей можетъ возникнуть токъ, продолжая тѣмъ не менѣе отрицать существованіе «животнаго электричества».

Теперь, когда цѣлое столѣтіе отдѣляетъ насъ отъ того достопамятнаго въ исторіи физіологіи времени, мы можемъ болѣе безпристрастно судить о всѣхъ переходахъ этого замѣчательнаго ученаго поединка. И невольно напрашивается сомнѣніе, что за причина была такого долгаго упорства съ той и другой стороны при наличности извѣстныхъ фактовъ, которые, казалось, могли бы примирить обѣ стороны, тѣмъ болѣе, что во главѣ движенія съ той и другой были ученые, которые обладали достаточнымъ критическимъ умомъ, чтобы взвѣсить ихъ надлежащимъ образомъ, и не заключалось ли тутъ какой-нибудь фальши или неясности въ самой постановкѣ вопроса спора.

Повидимому, это послѣднее обстоятельство, дѣйствительно, играло на дѣлѣ не малую роль. Только что было упомянуто, что Вольта для объясненія сокращенія безъ металловъ допускалъ возможность самостоятельнаго развитія электричества въ мѣстахъ соприкосновенія двухъ разнородныхъ животныхъ тканей (въ данномъ случаѣ мышцы и нерва). Впослѣдствіи онъ построилъ даже цѣлую теорію о такъ называемыхъ проводникахъ третьяго класса, къ которымъ онъ причисляетъ такія полужидкія вещества, какъ мускульная, нервная и т. п. животныя субстанціи, и которые, комбинируясь съ проводниками второго класса (жидкостями), могутъ образовать такіе же источники электричества, какъ гальваническій элементъ, составленный изъ металловъ (провод. I класса) и жидкостей

[1]) Ibidem, SS. 60, 61.

(пров. II класса). Эту теорію Вольта построилъ для объясненія электрической дѣятельности рыбъ. Электрическій органъ ската (Torpedo), по его мнѣнію, совершенно подобенъ по своему строенію гальваническому столбу, причемъ поперечныя перегородки (см. ниже гл. X) вполнѣ аналогичны его цинко-мѣднымъ парамъ, окруженнымъ жидкой лимфой вмѣсто кислоты. Вольта былъ даже такъ увлеченъ этой аналогіей, что предлагалъ назвать свой столбъ искусственнымъ электрическимъ органомъ [1]). Такимъ образомъ нѣтъ сомнѣнія, что Вольта вовсе не отрицалъ у тканей животныхъ способности самостоятельно производить при нѣкоторыхъ условіяхъ электричество, а слѣдовательно, онъ никоимъ образомъ не можетъ считаться противникомъ принципа животнаго электричества вообще. Если онъ не соглашался съ Гальвани, такъ это касалось только частнаго вопроса о сокращеніи лягушечьей лапки подъ вліяніемъ собственнаго тока: въ то время какъ Гальвани училъ, что противоположные электрическіе заряды предсуществуютъ уже на нервѣ и мышцѣ, какъ на двухъ обкладкахъ лейденской банки, и соединяются въ моментъ соприкосновенія нерва съ мышцей, Вольта доказывалъ только, что эти заряды не предсуществовали, а возникаютъ въ самой моментъ соприкосновенія. Но, съ другой стороны, Вольта вовсе не отрицалъ, что и въ живомъ организмѣ можетъ происходить подобнымъ же путемъ выработка электричества, какъ это и имѣетъ, несомнѣнно, мѣсто въ органѣ электрическихъ рыбъ; онъ только доказывалъ, что животное электричество не имѣетъ какого-то исключительнаго значенія, не есть особый спеціальный аттрибутъ живой матеріи, а возникаетъ въ ней подъ вліяніемъ тѣхъ же условій, какъ и въ неодушевленныхъ проводникахъ. Разница, пожалуй, въ оттѣнкахъ ихъ взглядовъ: Вольта по нашимъ понятіямъ могъ бы назваться больше матеріалистомъ, а Гальвани виталистомъ, но по существу ихъ ученія не только не противорѣчатъ, но дополняютъ другъ друга, и въ настоящее время мы знаемъ, что и тотъ, и другой были одинаково правы. Такимъ образомъ, если о Вольта утвердилось мнѣніе, какъ о противникѣ жи-

[1]) Ibidem, S. 92.

вотнаго электричества, и хотя онъ самъ себя такъ называлъ,— то это только благодаря недостаточно ясной формулировкѣ термина «животное электричество», вслѣдствіе чего объ стороны часто спорили только изъ за словъ и отрицали взаимно существованіе одного и того же предмета, на который объ смотрѣли, но только съ разныхъ точекъ зрѣнія.

Подобные споры, въ значительной степени на почвѣ недоразумѣнія и нежеланія понять другъ друга, можно указать въ исторіи каждой науки. Однако въ электрофизіологіи такое положеніе вещей повторилось вскорѣ вторично, почти въ наше время, въ споръ Дю-Буа Реймона съ Германомъ. Здѣсь тоже въ значительной мѣрѣ дѣло зависѣло отъ нежеланія стать на чужую точку зрѣнія и доктринерскаго упорства тамъ, гдѣ столкновеніе могло бы быть предупреждено путемъ компромисса. Однако мы должны извинить доблестныхъ бойцовъ науки, если въ пылу увлеченія они преступали иногда законы безпристрастія и справедливости. Быть можетъ ничего нѣтъ для человѣка болѣе труднаго, какъ поступиться, хотя бы и отчасти, своимъ образомъ мыслей и сознать, что его излюбленныя убѣжденія не вполнѣ соотвѣтствуютъ дѣйствительности.

Въ Декабрѣ 1798 года Гальвани умеръ, а въ слѣдующемъ, 1799 году Вольта изобрѣлъ свой знаменитый электрическій столбъ, открывшій физикамъ дотолѣ совершенно неизвѣстные горизонты. Его открытіе прогремѣло по всему міру не меньше, чѣмъ за нѣсколько лѣтъ передъ тѣмъ открытіе Гальвани, и слава его какъ ученаго достигла своего кульминаціоннаго пункта (Наполеонъ пожаловалъ ему за научныя заслуги графское достоинство). Неудивительно, что при такихъ обстоятельствахъ его противники остались совершенно въ тѣни, и вопросъ о животномъ электричествѣ надолго былъ отложенъ въ сторону. Послѣднимъ выдающимся моментомъ въ этой борьбѣ было появленіе въ 1804 г. книги «Essai théorique et expérimentale sur le Galvanisme», авторомъ которой былъ Альдини [1]), племянникъ и ученикъ Гальвани, принявшій на себя послѣ смерти дяди роль защитника животнаго электричества. Въ этомъ сочиненіи

[1]) Du Bois-Reym. Untersuch. I, S. 93.

Альдини излагаетъ различные способы производства опыта съ сокращеніемъ безъ металловъ. Послѣ этого въ теченіе 23 лѣтъ никто больше не интересовался вопросомъ о животномъ электричествѣ, вплоть до открытія Нобили въ 1827 году нервно-мышечнаго тока лягушки.

Въ 1820 году Эрстедтъ открылъ отклоняющее дѣйствіе гальваническаго тока на магнитную стрѣлку, благодаря чему явилась возможность узнавать присутствіе слабыхъ токовъ въ проволокѣ или иномъ проводникѣ. Нобили, который работалъ надъ усовершенствованіемъ изобрѣтеннаго имъ гальванометра съ астатической системой стрѣлокъ, произвелъ, между прочимъ, съ нимъ слѣдующій опытъ: онъ браллъ отпрепарованную лягушечью лапку, какъ въ опытѣ Гальвани, и производилъ соединеніе нерва и мышцы при помощи включенія въ цѣпь гальванометра, причемъ концы лапки и нерва были погружены въ два сосуда, наполненные солевыми растворами, и гальванометръ замыкалъ цѣпь между ними,—въ моментъ замыканія получалось сокращеніе лапки, и въ то же время стрѣлка давала отклоненіе. Изслѣдуя явленіе ближе, Нобили могъ убѣдиться, что стрѣлка отклоняется не только въ моментъ замыканія, но что отклоненіе держится болѣе или менѣе долгое время спустя, даже послѣ того, какъ мышца потеряетъ способность сокращаться. Отсюда вытекало, что въ нервномышечномъ препаратѣ лягушки длительно проходитъ гальваническій токъ, направленіе котораго было всегда одинаково: отъ мышцы къ нерву —въ самомъ препаратѣ (т. е. мышцы—, нервъ+), и который Нобили назвалъ *собственнымъ токомъ лягушки*, la corrente proprïa della rana [1]). Это замѣчательное открытіе (1827 г.) не было однако въ достаточной мѣрѣ оцѣнено Нобили. Скептическое отношеніе къ животному электричеству было такъ велико, что Нобили сталъ искать другого объясненія этого явленія, и пришелъ къ заключенію, что открытый имъ токъ термоэлектрическаго происхожденія, и зависитъ отъ неодинаковаго охлажденія мышцы и нерва путемъ испаренія воды ихъ поверхностями. Благодаря этому открытіе лягу-

[1]) Ibidem. S. 101.

шечьяго тока возбудило мало вниманія какъ среди физіологовъ, такъ и среди физиковъ.

Однако скоро послѣ этого, благодаря работамъ Маттеучи, электрофизіологія вступила въ новую эру [1]). Заслуга Маттеучи состоитъ въ томъ, что онъ, послѣ долгаго промежутка времени, снова подналъ голосъ въ защиту значенія животнаго электричества въ жизненныхъ процессахъ и показалъ тѣсную зависимость между тѣми и другими. Опыты, предпринятые имъ съ этой цѣлью, состояли, между прочимъ, въ слѣдующемъ. Живому кролику вскрывалась брюшная полость и отводились въ гальванометръ мѣста на желудкѣ и печени: получался сильный токъ, дававшій отклоненіе гальванометра въ 15—20°; затѣмъ перерѣзались всѣ сосуды и нервы, идущіе черезъ грудобрюшную преграду въ полость живота,—токъ при этомъ падалъ до 3°—4°; если кролику отрубалась голова, то токъ совсѣмъ прекращался; если теперь въ спинной мозгъ втыкалась проволочная игла, то вмѣстѣ съ судорогами, происходившими вслѣдствіе раздраженія, токъ снова появлялся на короткое время.

Желая доказать, что открытый Нобили токъ не есть ни термоэлектрическій, ни зависящій отъ посмертнаго развитія неодинаковыхъ химическихъ продуктовъ въ мышцѣ и нервѣ, Маттеучи промывалъ тщательно свои препараты въ дистиллированной водѣ. Оказалось, что послѣ этого токъ все-таки получался, хотя и болѣе слабый; но, съ другой стороны, смачиваніе того же препарата солевыми, кислыми и щелочными растворами разныхъ температуръ оставалось совсѣмъ безъ эффекта на гальванометръ. Далѣе онъ показалъ, что ослабленіе жизненныхъ процессовъ, наступающее, напримѣръ, вслѣдствіе охлажденія животнаго, также вліяетъ на силу тока. Достаточно положить на лягушку кусокъ льда, чтобы токъ уменьшился или даже прекратился совсѣмъ, хотя животное продолжаетъ жить; стоитъ лягушку нагрѣть или произвесть вдуваніе въ легкіе кислорода, чтобы онъ появился снова.

Наконецъ, Маттеучи подмѣтилъ еще одно замѣчательное

[1]) Ibidem, SS. 108—128

явленіе, а именно, исчезновеніе тока, наступающее въ то время, когда мышца находится въ состояніи столбняка, по прекращеніи котораго токъ появляется снова. Это наблюденіе (1840 г.) послужило Дю-Буа Реймону [1]) для открытія такъ называемаго «отрицательнаго колебанія тока», а вмѣстѣ съ тѣмъ и для окончательнаго доказательства того, что токъ мышцы и нерва есть такая же функція ихъ дѣятельнаго состоянія, какъ, напримѣръ, теплопродукція.

Что касается до причины электрическихъ токовъ, наблюдаемыхъ на живыхъ тканяхъ, то Маттеучи видитъ ее въ соприкосновеніи «крови, жидкой или организованной въ мускульную субстанцію, съ нервнымъ веществомъ, содержащимся въ нервныхъ стволахъ или въ мозгѣ» [2]). Слѣдовательно, Маттеучи всецѣло стоитъ на сторонѣ теоріи контакта, но это нисколько не мѣшаетъ ему признавать тѣсную зависимость между жизненными функціями и электромоторной дѣятельностью живыхъ тканей. Такимъ образомъ Маттеучи примиряетъ крайность ученій Гальвани и Вольта, и уже однимъ этимъ обстоятельствомъ онъ немало способствовалъ прогрессу электрофизіологіи и признанію за ней правъ гражданства среди точныхъ наукъ.

Окончательнымъ же признаніемъ этихъ правъ всѣми электрофизіологія обязана Дю-Буа Реймону.

Открытія послѣдняго въ короткое время такъ подвинули впередъ разработку этой науки, какъ это едва-ли выпадало въ какой-либо отрасли знанія на долю одного человѣка. Дю-Буа Реймонъ началъ свои изслѣдованія съ повѣрки результатовъ, найденныхъ Маттеучи, и первое сообщеніе о своихъ заключеніяхъ и выводахъ опубликовалъ въ 1843 году, въ Annalen d. Physik und Chemie подъ заглавіемъ: «Vorläufiger Abriss einer Untersuchung über den Froschstrom und über die elektromotorischen Fische» [3]), а въ 1848 году вышелъ первый томъ его замѣчательнаго труда «Untersuchungen über thierische Elektricität», въ которомъ окончательно установлены уже всѣ важнѣйшіе законы мышечнаго тока.

[1]) Untersuch. u. s. w. Bd. II (1). S. 25 ff.
[2]) Du Bois-Reym. Untersuch. Bd. I, S. 118.
[3]) Ibidem, S. 123.

Основныя положенія, которыя были доказаны имъ, и послужили потомъ краеугольнымъ камнемъ какъ для его собственной, такъ и для всѣхъ другихъ теорій мышечнаго и нервнаго тока, предлагавшихся вплоть до нашего времени, заключаются въ слѣдующемъ [1]).

Если взять возможно правильно построенную мышцу лягушки съ параллельнымъ ходомъ волоконъ, напримѣръ m. sartorius, то въ такой мышцѣ можно различать: поверхность, или по терминологіи Дю-Буа Реймона *естественный продольный разрѣзъ*, и сухожильные концы, или *естественные поперечные разрѣзы*, далѣе, если сдѣлать срѣзъ параллельно поверхности, то получимъ *искусственный продольный разрѣзъ*, а если отрѣзать сухожильные концы, то получимъ *искусственные поперечные разрѣзы*; наконецъ линію, перпендикулярную оси мышцы и дѣлящую ее пополамъ, Дю-Буа Реймонъ называетъ *мышечнымъ экваторомъ*.

Фиг. 1.



Распредѣленіе токовъ на мышцѣ съ двумя искусственными поперечными сѣченіями.

Дю-Буа Реймонъ нашелъ, что если соединить съ гальванометромъ двѣ точки, изъ которыхъ одна лежитъ на продольномъ, а другая на поперечномъ разрѣзѣ, то первая оказывается всегда положительной по отношенію ко второй, т. е. другими словами въ гальванометрѣ токъ идетъ отъ продольнаго къ поперечному разрѣзу, а въ самой мышцѣ, слѣдовательно, обратно—отъ поперечнаго къ продольному (фиг. 1, *a*). Электромоторная сила этихъ токовъ увеличивается съ приближеніемъ отводимаго мѣста на продольномъ разрѣзѣ къ экватору, а на поперечномъ—къ центру, въ среднемъ она колеблется около 0,05 вольта. Кромѣ того токи, хотя и слабые (0,01—2 V.), получаются и въ томъ случаѣ, если обѣ отводимыя въ гальванометръ точки берутся на продольномъ (фиг. 1, *b*) или на поперечномъ (фиг. 1, *c*) срѣзѣ, причемъ въ первомъ случаѣ точка, лежащая ближе къ экватору, оказывается болѣе положительной по отношенію къ лежащей дальше отъ экватора, а во второмъ, лежащая ближе къ центру—отрицательной по отношенію къ лежащей ближе къ краю. При отведеніи отъ точекъ, расположенныхъ симметрично относительно экватора или центра поперечнаго разрѣза, тока совсѣмъ не получается.

Всѣ эти токи, по Дю-Буа Реймону, могутъ быть доказаны какъ при искусственномъ, такъ и при естественномъ поперечномъ разрѣзѣ, т. е., напримѣръ, при отведеніи отъ сухожилья (естественный поперечный разрѣзъ) и средины неповрежденной мышцы (экваторъ), сухожилье будетъ отрицательно по отношенію къ экватору; а также и при искусственномъ продольномъ разрѣзѣ,—хотя искусственный продольный разрѣзъ употребляютъ рѣдко, обыкновенно опыты ставятся такъ, что токъ отводится отъ искусственнаго поперечнаго разрѣза и естественной продольной поверхности мышцы.

Впослѣдствіи имъ же было найдено, что если искусственный поперечный разрѣзъ сдѣлать наклонно къ оси мускула, то изъ двухъ точекъ, взятыхъ на поверхности такого поперечнаго разрѣза, та, которая лежитъ ближе къ острому углу, будетъ отрицательна по отношенію къ лежащей ближе къ тупому (фиг. 1, *d*). Токи эти тѣмъ сильнѣе, чѣмъ острѣе уголъ, и электромоторная сила ихъ достигаетъ 0,04 V. Дю-Буа Реймонъ назвалъ ихъ токами наклоненія (Neigungsströme) [1]).

Наконецъ, Дю-Буа Реймонъ доказалъ, что сила всѣхъ токовъ значительно ослабѣваетъ каждый разъ, когда мышца сокращается или впадаетъ въ состояніе столбняка (см. выше Маттеучи). Дю-Буа Реймонъ показалъ, что это явленіе, которое онъ называлъ *отрицательнымъ колебаніемъ тока*, не

[1]) Untersuch. Bd. I, S. 498 ff.

[1]) Ges. Abhand. Bd. II, SS. 93—127.

зависитъ ни отъ измѣненія формы мышцы при сокращеніи, ни ея сопротивленія, ни отъ другихъ какихъ либо внѣшнихъ причинъ, а является прямымъ результатомъ измѣненной жизнедѣятельности мышечнаго вещества и служитъ такимъ образомъ наглядньмъ доказательствомъ того, что электропродукція такая же жизненная функція мышцы, какъ и всѣ другія [1]).

Вотъ почти все, что касается фактической стороны вопроса, и что можно найти въ любомъ учебникѣ физіологіи.

Какъ ни просты и несложны могутъ показаться эти отношенія, однако дать для объясненія ихъ теорію, которая въ одно и то же время была бы достаточно наглядна, свободна отъ противорѣчій и охватывала бы предметъ со всѣхъ сторонъ, оказалось дѣломъ настолько труднымъ, что полъ-столѣтія, протекшее со дня обнародованія изслѣдованій Дю-Буа Реймона, не могли примирить взглядовъ физіологовъ на этотъ предметъ.

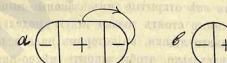
Установивши фактическую сторону вопроса, Дю-Буа Реймонъ для объясненія сдѣланныхъ открытій создалъ, какъ извѣстно, свою знаменитую *молекулярную теорію*, которая признаетъ существованіе въ живой ткани самостоятельныхъ источниковъ электрической энергіи въ формѣ электродвигательныхъ молекулъ. Исходя изъ того факта, что поперечный разрѣзъ мышцы всегда относится отрицательно къ продольной поверхности, какъ бы ни былъ малъ взятый кусокъ мышцы (можно мышцу изрѣзать на мелкіе кусочки), Дю-Буа Реймонъ заключилъ, что всякая мышца построена изъ мельчайшихъ частицъ или молекулъ, обладающихъ тѣмъ свойствомъ, что ихъ поверхности, обращенныя къ поперечному разрѣзу мышцы, отрицательны, а обращенныя къ продольному—положительны (фиг. 2, *a*). Модель такой молекулы по Дю-Буа Реймону можно представить въ видѣ мѣдно-цинковой пары, состоящей изъ цинковой средней части и припаянныхъ къ ней боковыхъ мѣдныхъ частей; если такую модель обернуть индифферентными влажными проводниками, напримѣръ фланелью, пропитанной подкисленной водой, или же погрузить въ подкисленную воду,

[1]) Untersuchungen, Bd. II (1), SS. 50—87.

Инв. № 17
НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
1-го Харьк. Мед. Института

то при отведеніи въ гальванометръ двухъ точекъ, изъ которыхъ одна прилежитъ къ мѣди, а другая къ цинку, можно убѣдиться въ присутствіи тока, идущаго черезъ гальванометръ по направленію отъ цинка къ мѣди. Получаемые при этомъ въ гальванометрѣ токи суть не что иное, какъ петли проходящихъ въ жидкости или во влажной оберткѣ токовъ, производимыхъ мѣдно-цинковыми элементами. Поэтому отводящій токъ электродъ не долженъ прямо соприкасаться съ металломъ (цинкомъ или мѣдью) мѣдно-цинковой пары, а находиться на нѣкоторомъ разстояніи отъ нихъ въ слоѣ жидкости [1]).

Фиг. 2.



Электромоторныя молекулы Дю-Буа Реймона. *а*—неполярная молекула; *b*—неполярная группа изъ двухъ диполярныхъ молекулъ.

Если укрѣпить на деревянной доскѣ нѣсколько рядовъ такихъ мѣдно-цинковыхъ элементовъ такъ, чтобы ихъ отрицательныя, т. е. мѣдныя, поверхности были обращены одна къ другой по направленію въ длину ряда, и такимъ образомъ ограничивали поперечную поверхность, то мы получимъ

[1]) Необходимо обратить вниманіе на употребляемые здѣсь термины: положительный и отрицательный. Мѣдно-цинковая пара Дю-Буа Реймона представляетъ, въ сущности, нѣсколько модифицированный элементъ Вольта. Токъ, получаемый отъ этого элемента, во внѣшней цѣпи идетъ отъ мѣди къ цинку, поэтому мѣдному электроду присвоено здѣсь названіе положительнаго, а цинку отрицательнаго. Въ парѣ Дю-Буа Реймона, гдѣ цинкъ и мѣдь просто спаяны, «внѣшней» цѣпи совсѣмъ не существуетъ, или, правильнѣе, она находится на мѣстѣ спая; въ гальванометрѣ же мы отводимъ часть тока, идущую въ жидкости (внутренняя часть цѣпи), гдѣ направленіе его—отъ цинка къ мѣди; вслѣдствіе этого мѣдная часть пары Дю-Буа Реймона и играетъ роль отрицательнаго полюса (входящій токъ), а цинковая положительнаго (выходящій токъ). Чтобы избѣжать этой неясности въ терминологіи, принятой громаднымъ большинствомъ физіологовъ, Валлеръ предложилъ свою особую терминологію, впрочемъ еще болѣе запутанную (см. A. Waller. Tierische Elektrizität, übersetzt von Estelle du Bois-Reymond. Leipzig, 1899. S. 1 ff.).

63999
ПЕРЕВЕРНУТО
1936
БИБЛІОТЕКА
Харківського Медичн. інституту
№ 5218

Фиг. 3.



Модель мышцы по Дю-Буа Реймону. *L*—модель изъ перполярныхъ молекулъ; *M*—модель изъ диполярныхъ молекулъ; *P*—парэлектрономическій слой на неповрежденномъ концѣ мышцы; *N*—расположеніе молекулъ при токѣ наклоненія.

искусственную модель мышцы по Дю-Буа Реймону, на которой можно доказать всѣ открытые имъ законы мышечнаго тока (фиг. 3). Для этого стоитъ только такую модель положить на дно деревяннаго ящика, въ которомъ налита подкисленная вода ровно настолько, чтобы закрыть мѣдно-цинковыя пары, или же покрыть ее слоемъ какого-нибудь влажнаго проводника, напримѣръ ваты, намоченной въ надкисленной водѣ, и затѣмъ отводить токъ, погружая платиновые электроды въ разныхъ мѣстахъ въ жидкость или прикасаясь ими къ ватѣ. На такой модели можно наблюдать не только токъ при отведеніи отъ поперечнаго и продольнаго разрѣза, но также и тѣ болѣе слабые токи, которые получаются при отведеніи отъ двухъ точекъ, взятыхъ на поперечномъ или продольномъ разрѣзѣ, а также токи наклоненія. Причина возникновенія этихъ токовъ заключается въ своеобразномъ распредѣленіи потекъ тока внутри влажнаго проводника въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ (объ этомъ см. подробнѣе въ гл. IV, V и VI).

Этимъ воображаемымъ молекуламъ, съ двумя отрицательными полюсами и положительной средней частью или экваторомъ, Дю-Буа Реймонъ далъ названіе *перполярныхъ* молекулъ. Согласно предположенію Дю-Буа Реймона, онѣ должны быть расположены въ мышцѣ такъ, какъ это изображено на вышеприведенномъ рисункѣ. При такихъ условіяхъ направленіе мышечныхъ токовъ будетъ именно такое, какое есть въ дѣйствительности. При этомъ дѣлается также вполнѣ понятнымъ, почему каждый кусочекъ мышцы, ограниченный

съ краевъ двумя искусственными поперечными разрѣзами, какъ бы малъ онъ ни былъ, обнаруживаетъ такое же отношеніе электрическихъ токовъ, какъ цѣлая мышца, и при этомъ электромоторная сила его будетъ такая же, какъ и всей мышцы. Въ самомъ дѣлѣ, какъ видно изъ рисунка, при указанномъ расположеніи молекулъ сила всѣхъ ихъ, за исключеніемъ двухъ полюсовъ (Q и Q_1), составляющихъ наружныя половинки крайнихъ молекулъ цѣпи, взаимно нейтрализуется, такъ какъ всѣ остальные полюсы, будучи попарно обращены одинъ противъ другого, уничтожаютъ дѣйствіе другъ друга. Такимъ образомъ дѣйствуютъ только двѣ половинки молекулъ, находящихся на краяхъ цѣпи, вслѣдствіе чего и сила всей цѣпи равна силѣ одной молекулы, какова бы цѣпь ни была.

Объясняя токи мышцъ присутствіемъ такихъ электродвигательныхъ молекулъ, Дю-Буа Реймонъ уже въ первомъ томѣ своихъ Untersuchungen высказалъ предположеніе, что каждая *перполярная* молекула, быть можетъ, есть соединеніе двухъ *диполярныхъ* [1]), то есть имѣющихъ только одинъ положительный и отрицательный полюсъ, причемъ каждая пара такихъ диполярныхъ молекулъ обращена другъ къ другу положительными, а наружу отрицательными полюсами, и такимъ образомъ въ результатѣ даетъ систему, средняя часть которой положительна, а наружныя отрицательны (фиг. 2, *b*), какъ и въ перполярной молекулѣ. Впослѣдствіи Дю-Буа Реймонъ и остановился именно на такомъ предположеніи, что дало ему возможность примѣнить свою теорію для объясненія такъ называемаго электротоническаго состоянія нервовъ, а также устранить нѣкоторыя возраженія противъ своей теоріи (см. ниже). Такую систему онъ называетъ *перполярной группой изъ двухъ диполярныхъ молекулъ* [2]). Однако по Дю-Буа Реймону она можетъ функціонировать только въ цѣломъ. Поэтому, если при разрѣзѣ нѣкоторыя перполярныя группы будутъ разсѣчены пополамъ, то оставшаяся половина, обращенная наружу не отрицательнымъ, а положительнымъ полюсомъ, немедленно

[1]) Untersuch. I, S. 683.
[2]) Untersuch. II (2), S. 87 ff.

умираетъ, и не будетъ такимъ образомъ уменьшать отрицательность поперечнаго разрѣза.

Къ этому краткому изложенію сущности молекулярной теоріи Дю-Буа Реймона остается только добавить, что для объясненія того ослабленія электромоторной силы тока, которое наступаетъ при раздраженіи мышцы, и которое онъ назвалъ отрицательнымъ колебаніемъ мышечнаго тока, Дю-Буа Реймонъ сдѣлалъ предположеніе, что въ моментъ дѣятельнаго состоянія мышцы сила всѣхъ электродвигательныхъ молекулъ претерпѣваетъ временное ослабленіе [1]).

Дю-Буа Реймонъ распространяетъ свою электромолекулярную теорію также для объясненія токовъ, наблюдаемыхъ на другихъ родахъ живой ткани, нервной, железистой и т. д. Эти ткани при извѣстныхъ условіяхъ тоже могутъ дать начало токамъ значительной силы; но здѣсь ему не удалось установить такой закономѣрности, какъ для токовъ мышечныхъ; и только въ отношеніи нервовъ Дю-Буа Реймонъ могъ обобщить свой законъ объ отрицательности поперечнаго разрѣза по отношенію къ продольной поверхности.

Въ этомъ заключаются основные выводы работъ Дю-Буа Реймона. Ученіе о законахъ мышечнаго тока изложено въ I томѣ его знаменитыхъ Untersuchungen (1848 г.), а ученіе объ отрицательномъ колебаніи тока занимаетъ часть II-го (1-й его половины, появившейся въ 1849 г.); въ этой послѣдней книгѣ содержится также изложеніе ученія объ электротоническомъ состояніи нервовъ и его объясненіе при помощи теоріи диполярныхъ электродвигательныхъ молекулъ; все это въ совокупности и составляетъ то, что принято въ физіологіи называть электромолекулярной теоріей Дю-Буа Реймона.

Результаты, полученные Дю-Буа Реймономъ, были немедленно провѣрены и подтверждены другими учеными, такъ что его теорія сразу получила полное право гражданства и самое широкое распространеніе въ наукѣ. Этому не мало способствовала строго логическая и вполнѣ научная разработка и изложеніе предмета въ связи съ замѣчательнымъ обиліемъ и разнообразіемъ опытовъ и подробнымъ ихъ анализомъ. По многочисленности и обстоятельности экспериментальныхъ данныхъ книги Дю-Буа Реймона и теперь еще представляютъ неисчерпаемый запасъ научнаго матеріала для всякаго физіолога. Положительно нѣтъ ни одного вопроса, даже самаго второстепеннаго значенія для его теоріи, который бы не былъ затронутъ имъ хотя въ нѣсколькихъ словахъ. Не говоря уже о томъ, что методологическая часть разработана такъ, что до настоящаго времени мало прибавлено въ этой области новаго.

Но однако уже черезъ нѣсколько лѣтъ послѣ опубликованія работъ Дю-Буа Реймона выяснились, при дальнѣйшей экспериментальной разработкѣ вопроса, нѣкоторыя подробности, которыя не могли быть объяснены при помощи ранѣе опубликованныхъ основныхъ положеній молекулярной теоріи и потребовали новыхъ добавленій къ ней.

Еще за годъ до появленія предварительнаго сообщенія Дю-Буа Реймона (Vorläufiger Abriss u. s. w., 1843), появилась работа Валентина «Elektricität der Thiere» (въ Handwörterbuch der Physiologie mit Rücksicht auf physiol. Pathol.) [2]), въ которой этотъ послѣдній подвергаетъ обстоятельному разсмотрѣнію и критикѣ результаты изслѣдованій Нобили и Маттеучи надъ лягушечьимъ токомъ, и приходитъ къ заключенію, что всѣ найденныя до сихъ поръ закономѣрности въ направленіи и величинѣ этого тока имѣютъ только очень условное значеніе, такъ какъ могутъ мѣняться отъ самыхъ незначительныхъ причинъ, такъ что, напр., восходящій лягушечій токъ (corrente progria della rana Нобили) по временамъ не можетъ быть совсѣмъ обнаруженъ, а иногда принимаетъ обратное направленіе. Дю-Буа Реймонъ жестоко нападаетъ на него за такой скептицизмъ по отношенію къ животному электричеству [3]). Но вскорѣ было доказано, что Валентинъ былъ правъ, по крайней мѣрѣ отчасти.

Дальнѣйшими изслѣдованіями мышечнаго тока были подтверждены всѣ выводы Дю-Буа Реймона, касавшіеся токовъ

[1]) Untersuch. II (1), S. 87.

[1]) Untersuch. I, S. 130.

[2]) Ibidem, S. 156.

при отведеніи отъ искусственнаго поперечнаго сѣченія, т. е. отрицательность послѣдняго по отношенію къ естественному продольному разрѣзу, а также существованіе болѣе слабыхъ токовъ при отведеніи отъ несимметричныхъ точекъ продольнаго и поперечнаго разрѣза, по отношенія эти оказались гораздо менѣе постоянными, если оба разрѣза были естественными, т. е. если токъ отводился отъ поверхности и сухожильнаго конца неповрежденной мышцы. Оказалось, что здѣсь все дѣло зависитъ отъ того, въ какихъ условіяхъ находилась мышца передъ этимъ. Если мышца была только что отпрепарована, и притомъ такъ, что кожа была снята осторожно, такъ что поверхность осталась совершенно неповрежденною, то первое время никакого тока не наблюдается, или даже замѣчается слабый токъ противоположнаго направленія нормальному, т. е. сухожильный конецъ является положительнымъ по отношенію къ экватору; затѣмъ, когда мышца подвергнется въ теченіе нѣкотораго времени дѣйствію воздуха, получается обычный токъ, но очень незначительной величины. Но если препаратъ приготовленъ менѣе тщательно (довольно, напр., провесть 1—2 раза по поверхности мышцы ножницами, или, сдѣлавши разрѣзъ кожи, не достаточно бережно предохранить мышцу отъ дѣйствія ѣдкаго кожнаго отдѣляемаго),—токъ получается сразу максимальной силы. Точно также сразу развивается сильный токъ, если мышцу погрузить на короткое время или смазать слабымъ растворомъ кислоты или другого какого-нибудь ѣдкаго вещества.

Для объясненія такого явленія, находящагося въ прямомъ противорѣчіи съ выставленнымъ имъ первоначально основнымъ принципомъ объ отрицательности всякаго, какъ искусственнаго, такъ и естественнаго, поперечнаго разрѣза къ продольному, Дю-Буа Реймонъ построилъ гипотезу о такъ называемомъ парэлектропомическомъ (т. е. противномъ законамъ тока) состояніи неповрежденныхъ мышцъ [1]). Онъ предполагаетъ, что неповрежденная мышца тоже состоитъ во всей своей массѣ изъ периполярныхъ группъ диполярныхъ молекулъ, обращенныхъ своими отрицательными полюсами по направленію къ сухожильнымъ концамъ мышцы, но что на этихъ послѣднихъ лежитъ снаружи еще одинъ слой диполярныхъ молекулъ, обращенныхъ своими положительными полюсами наружу, которыя нейтрализуютъ дѣйствіе лежащаго подъ ними слоя съ обращенными наружу отрицательными полюсами. «Смотря по тому, облегаетъ ли этотъ слой естественный поперечный разрѣзъ совершенно, или мѣстами оставляетъ открытыми отрицательные полюсы перваго слоя глубже лежащихъ периполярныхъ группъ, мышца будетъ болѣе или менѣе положительно или отрицательно дѣятельна, или совсѣмъ электрически недѣятельна» [1]). Всякія поврежденія поверхности мышцы, механическія или химическія, легко разрушаютъ этотъ слой, и тогда появляется нормальный токъ во всей силѣ (фиг. 3, P).

Такимъ образомъ, съ этой стороны Дю-Буа Реймону удалось отразить ударъ, направленный противъ его теоріи электродвигательныхъ молекулъ, но сама теорія утратила черезъ это въ значительной степени свою простоту, такъ какъ для объясненія столь важныхъ явленій, какъ отсутствіе тока въ неповрежденныхъ мышцахъ и уменьшеніе его при дѣятельности мышцы (отрицательное колебаніе), потребовалось создать двѣ новыхъ вспомогательныхъ, и притомъ совершенно произвольныхъ, гипотезы: о парэлектрономическомъ состояніи и внезапномъ уменьшеніи электрической силы всѣхъ молекулъ при раздраженіи.

Все это заставило физіологовъ искать новыхъ данныхъ для рѣшенія вопроса о сущности электромоторной дѣятельности живыхъ тканей. Особенно много содѣйствовалъ разработкѣ вопроса въ этомъ направленіи Л. Германъ, который предложилъ въ 1867 году [2]), взамѣнъ электромолекулярной теоріи Дю-Буа Реймонъ, свою такъ называемую *альтераціонную* [3]) теорію происхожденія токовъ живыхъ тканей.

Основнымъ принципомъ теоріи Германа является поло-

[1]) Unters. II (2). S. 99 ff.

[1]) Unters. II (2). S. 100.

[2]) L. Hermann. Untersuchungen zur Physiologie der Muskeln und Nerven, Heft 2 и 3. Berlin, 1867 и 1868 г.

[3]) Ср. Л. Германъ. Руков. къ физіол. Т. I, стр. 346 пер.

женіе, что *живая протоплазма, въ покойномъ состояніи, вовсе лишена электрическихъ токовъ*, которые появляются въ ней только тогда, когда, вслѣдствіе раздраженія и наступающаго затѣмъ дѣятельнаго состоянія, создается неоднородность между раздраженною — дѣятельною и не раздраженной — покойной ея частью. Вслѣдствіе наступающихъ при этомъ измѣненій химизма въ дѣятельной части, создаются условія для появленія на границѣ дѣятельной и покойной части источника электрическаго тока, подобно тому, какъ это бываетъ на границѣ двухъ соприкасающихся растворовъ нѣкоторыхъ солей. Появляющійся при такихъ условіяхъ на границѣ покойной и раздраженной части токъ Германъ называетъ *демаркаціоннымъ* [1]). Второе основное положеніе Германа гласитъ: *всякое умирающее или раздражаемое мѣсто протоплазмы относится отрицательно къ покойному или менѣе раздражаемому* [2]).

Такимъ образомъ, условіемъ появленія въ живой ткани электрическаго тока является по Герману неодинаковая степень дѣятельности (resp. раздраженія) въ разныхъ ея частяхъ; если же вся масса вещества протоплазмы раздражена и дѣятельна въ одинаковой степени, то токи въ ней будутъ отсутствовать такъ же, какъ и въ совершенно покоящейся.

По этой причинѣ теорія Германа и называется *альтераціонной или теоріей измѣненія* въ противоположность теоріи Дю-Буа Реймона, которая считаетъ источникъ электрическаго тока (молекулы) предсуществующимъ въ живой ткани, и потому получила названіе *теоріи предсуществованія*.

Эти два закона Германъ кладетъ въ основаніе своей теоріи животныхъ токовъ. Первый изъ нихъ, т. е. отсутствіе тока въ совершенно покойной ткани, какъ только что было упомянуто, принужденъ былъ признать и Дю-Буа Реймонъ, построившій для его объясненія гипотезу парэлектрономическаго слоя. Что же касается до второго, то для его доказательства Германъ про-

[1]) Руков. физіол. I (1), стр. 317.

[2]) Такимъ образомъ Германъ связываетъ отрицательность отводимаго мѣста съ развивающимся здѣсь процессами регрессивнаго метаморфоза (anabiotisch alterirende Protoplasma). Съ этой точки зрѣнія умираніе и раздраженіе, resp. дѣятельность, разсматриваются какъ процессы аналогичные.

извелъ цѣлый рядъ опытовъ не только съ мышечной, но также съ нервной и железистой тканями. Опыты эти состояли въ томъ, что къ двумъ точкамъ находящагося въ покойномъ состояніи мускула, нерва и т. д. прикладывались неполяризующіеся электроды и соединялись съ гальванометромъ, который сначала указывалъ на полное отсутствіе тока; но какъ только въ области одного изъ электродовъ начинали раздражать мышцу механически, химически или электрически, — немедленно появлялся токъ, направленіе котораго въ самой ткани было отъ раздражаемаго (—) къ покойному мѣсту (+). Если раздраженіе длится очень короткое время (напримѣръ щипокъ пинцетомъ или индукціонный ударъ), то при этомъ можно наблюдать такъ называемый *фазисный токъ дѣйствія* [1]): въ моментъ раздраженія становится отрицательнымъ электродъ у раздражаемаго мѣста, — появляется токъ, идущій отъ этого мѣста, — а затѣмъ, когда волна раздраженія достигаетъ болѣе отдаленнаго электрода, а мѣсто первоначальнаго раздраженія успѣло уже придти въ болѣе покойное состояніе, — второй электродъ становится отрицательный по отношенію къ первому, и появляется токъ въ обратномъ направленіи. То же самое удалось доказать Герману относительно непрямого раздраженія съ нерва: при этомъ отрицательнымъ становится сначала точка, ближайшая къ мѣсту входа нерва, и затѣмъ отрицательная волна распространяется дальше; этотъ опытъ удается даже на живомъ человѣкѣ при отведеніи тока черезъ кожу.

Установивши эти факты, Германъ показалъ, что ихъ совершенно достаточно для объясненія всѣхъ явленій электрическаго тока, открытыхъ Дю-Буа Реймономъ. Такимъ образомъ, появленіе тока, направленнаго въ мышцѣ отъ искусственнаго поперечнаго разрѣза къ неповрежденной продольной поверхности, объясняется по Герману не присутствіемъ въ мышцѣ источниковъ электричества въ видѣ электродвигательныхъ молекулъ, а просто сильнымъ раздраженіемъ концовъ перерѣзанныхъ (или прижженныхъ химически) мышечныхъ волоконъ у поперечнаго сѣченія, которое и становится вслѣд-

[1]) Германъ. Руков. физіол. I (1), стр. 312.

ствіе этого отрицательнымъ по отношенію къ неповрежденной продольной поверхности.

Далѣе Герману удалось доказать посредствомъ особаго прибора (падающій реотомъ) [1]), что мышечный токъ появляется не мгновенно послѣ нанесенія поперечнаго сѣченія, а спустя нѣкоторое, хотя и очень короткое время, соотвѣтствующее періоду скрытаго раздраженія мышцы; если бы токъ зависѣлъ отъ предсуществовавшихъ въ мышцѣ молекулъ, сила которыхъ была только нейтрализована парэлектрономическимъ слоемъ, то онъ долженъ былъ бы появиться мгновенно послѣ удаленія этого слоя.

По существу, однако, взгляды Германа и Дю-Буа Реймона на механизмъ развитія тока не такъ уже расходятся, какъ это можетъ показаться съ перваго раза. Дѣло въ томъ, что и Дю-Буа Реймонъ видитъ источникъ электрическаго тока только въ самомъ крайнемъ, лежащемъ на поверхности поперечнаго разрѣза, слоѣ электродвигательныхъ молекулъ (такъ какъ сила остальныхъ, лежащихъ глубже, взаимно нейтрализуется): этотъ слой вполнѣ соотвѣтствуетъ, слѣдовательно, демаркаціонной плоскости Германа, т. е. пограничной линіи между находящейся въ дѣятельномъ состояніи и покойной протоплазмой. При этихъ условіяхъ можно смотрѣть на находящійся въ состояніи раздраженія кончикъ каждаго поперечноперерѣзаннаго мышечнаго волокна, какъ на электродвигательный источникъ, вполнѣ аналогичный гипотетической молекулѣ Дю-Буа Реймона.

На такой именно точкѣ зрѣнія и стоитъ Германъ, когда ему приходится давать объясненіе токамъ, возникающимъ при отведеніи отъ двухъ точекъ поперечнаго разрѣза, токамъ наклоненія и т. п. Онъ предполагаетъ, что плоскость отмиранія (демаркаціонная плоскость), при поперечномъ разрѣзѣ мышечнаго волоконца, всегда расположена прямо перпендикулярно къ его оси (соотвѣтственно поперечной исчерченности), а потому электромоторное дѣйствіе ея будетъ совершенно такое же, и въ томъ же направленіи, какъ если бы на концѣ волоконца была помѣщена электродвигательная молекула.

[1]) Руков. физіол. I (1), стр. 349.

Такимъ образомъ, если бы построить по плану Германа модель мышцы, подобную модели Дю-Буа Реймона, то для этого пришлось бы только удалить вовсе всѣ внутреннія мѣдноцинковыя пары за исключеніемъ одного пограничнаго слоя. Съ такой моделью можно было бы произвесть всѣ тѣ же опыты, какъ и съ полной моделью, какъ то: опыты съ постепеннымъ уменьшеніемъ отрицательности точекъ продольной поверхности по мѣрѣ удаленія отъ поперечнаго разрѣза, и приближенія къ экватору, опыты съ токами при отведеніи отъ двухъ точекъ одного и того же поперечнаго разрѣза и опыты съ токами наклоненія при косвенномъ расположеніи поперечнаго разрѣза. Слѣдовательно, по Герману, какъ и по Дю-Буа Реймону, всѣ эти явленія мышечнаго тока суть только обнаруженіе въ гальванометрѣ петель тока, производимыхъ въ индифферентныхъ влажныхъ проводникахъ электродвигательной плоскостью поперечнаго разрѣза; но только по Дю-Буа Реймону эта плоскость состоитъ изъ одного слоя диполярныхъ электромоторныхъ молекулъ, а по Герману она есть, такъ сказать, демаркаціонная пластинка между раздраженною и находящеюся въ относительномъ покоѣ частью мышечнаго вещества [1]).

Съ другой стороны, Германъ совершенно отрицаетъ принципіальное различіе между продольнымъ и поперечнымъ разрѣзами, а слѣдовательно, и возможность существованія токовъ между сухожиліемъ (естественное поперечное сѣченіе) и поверхностью (естественный продольный разрѣзъ) совершенно неповрежденной мышцы, а также между искусственнымъ поперечнымъ и искусственнымъ же продольнымъ разрѣзами.

Наконецъ, отрицательное колебаніе тока, т. е. уменьшеніе силы тока во время тетаническаго раздраженія мышцы, по теоріи Германа объясняется просто тѣмъ, что всѣ ея части при этомъ приходятъ въ болѣе или менѣе одинаковую сте-

[1]) Отрицательное отношеніе каждой точки, лежащей ближе къ поперечному разрѣзу, къ болѣе удаленной отъ него съ точки зрѣнія теоріи Германа можетъ быть также объяснено тѣмъ, что степень раздраженія, въ которомъ находится мышечное вещество, уменьшается по мѣрѣ удаленія отъ поперечнаго разрѣза (см. ниже).

пень раздраженія, благодаря чему исчезаютъ условія для появленія демаркаціоннаго тока.

Взгляды Германа нашли много сторонниковъ среди физіологовъ, и между представителями обоихъ ученій завязалась горячая полемика. Наибольшія трудности для объясненія съ точки зрѣнія молекулярной теоріи представляетъ открытый Германомъ фазисный токъ и найденное имъ запаздываніе появленія мышечнаго тока послѣ нанесенія поперечнаго разрѣза. Что касается до фазиснаго тока, т. е. отрицательности того мѣста мышцы, черезъ которое проходитъ въ данный моментъ волна сокращенія, то по теоріи Дю-Буа Реймона объясняется это явленіе такимъ образомъ, что въ томъ участкѣ мышцы, черезъ который проходитъ волна сокращенія, происходитъ отрицательное колебаніе тока, т. е. паденіе силы всѣхъ электродвигательныхъ молекулъ, благодаря чему такой участокъ болѣе или менѣе приближается просто къ индиферентному влажному проводнику,—а въ такомъ случаѣ онъ, слѣдовательно, проводитъ токъ отъ ближайшаго поперечнаго слоя молекулъ сосѣдняго участка, находящагося еще въ покоѣ, такъ что здѣсь какъ бы дѣлается разрывъ мышцы и отводится токъ отъ образовавшагося искусственнаго поперечнаго разрѣза, благодаря чему это мѣсто и является отрицательнымъ. То обстоятельство, что мышечный токъ достигаетъ максимальной силы не мгновенно послѣ нанесенія поперечнаго разрѣза, можетъ быть объяснено съ точки зрѣнія молекулярной теоріи просто механическимъ нарушеніемъ правильности расположенія электрическихъ молекулъ. Нѣкоторыя перипулярныя группы могутъ быть разсѣчены при этомъ пополамъ, такъ что къ поперечному разрѣзу будетъ прилегать положительный конецъ оставшейся диполярной половины,—хотя по Дю-Буа Реймону остающаяся диполярная молекула немедленно умираетъ, но въ теченіе очень короткаго времени она можетъ проявить свое дѣйствіе уменьшеніемъ отрицательнаго напряженія на поперечномъ разрѣзѣ.

Въ такомъ приблизительно положеніи остаются обѣ эти теоріи до настоящаго времени. Каждая имѣетъ своихъ сторонниковъ, хотя число ихъ у молекулярной теоріи все болѣе

рѣдѣетъ, а со смертью Дю-Буа Реймона (1897 г.) оно, вѣроятно, уменьшится совсѣмъ. Причина этого охлажденія къ молекулярной теоріи, которая до семидесятыхъ годовъ была исключительно господствующей въ электрофизіологіи, безъ сомнѣнія, зависитъ отъ значительной доли искусственности и натянутости въ построеніи нѣкоторыхъ ея доказательствъ [1]). Зато она имѣетъ и то неоцѣнимое преимущество въ такой запутанной области, какъ электромоторная дѣятельность живыхъ тканей, что она прямо вводитъ насъ, такъ сказать, in medias res, давая вполнѣ конкретное представленіе о характерѣ происходящаго здѣсь процесса. Тогда какъ Герману справедливо ставили въ укоръ, что, не признавая существованія электромоторныхъ молекулъ, какъ вещественныхъ очаговъ электрической дѣятельности въ живой ткани, онъ на мѣсто ихъ не выдвинулъ ни-

[1]) Подрывъ авторитета этой теоріи не мало способствовало и измѣненіе взглядовъ физіологовъ на сущность электротоническаго состоянія нервовъ. Сначала Дю-Буа Реймонъ при помощи своей теоріи далъ довольно простое и законченное объясненіе этого явленія, которое и принималось большинствомъ во время господства его взглядовъ, и было привлекательно еще потому, что ставило электротонъ въ связь съ физіологическимъ распространеніемъ раздраженія по нерву и представляло, такимъ образомъ, вопросъ объ электрической природѣ раздраженія рѣшеннымъ. Германъ, отрицая существованіе электродвигательныхъ молекулъ, развилъ другой взглядъ на природу электротона, какъ на явленіе вторичное, зависящее отъ внутренней поляризаціи въ нервѣ (Маттеучи, Гризингеръ). Хотя эта теорія болѣе сложна, и не можетъ быть съ такой легкостью поставлена въ связь съ нормальнымъ проведеніемъ раздраженія по нерву, но зато она гораздо болѣе вѣроятна съ физической точки зрѣнія, а несостоятельность молекулярной теоріи съ этой стороны косвенно отразилась и на признаніи ея значенія въ области собственно электрическихъ явленій живыхъ тканей. Хотя даже въ настоящее время, когда теорія электротона получила такое большое теоретическое значеніе въ физіологіи и подробную разработку съ физической стороны, теорія поворотъ молекулъ вокругъ оси, которой придерживался прежде Дю-Буа Реймонъ, можетъ быть удержана, какъ наглядная схема происходящаго здѣсь процесса, подъ тѣмъ условіемъ, конечно, что «молекулы» должны представляться не въ видѣ матеріальныхъ частицъ, а въ переносномъ смыслѣ, и поворотъ ихъ на оси полюсами въ одну сторону знаменуетъ только то, что данный участокъ нервнаго волокна дѣлается въ этотъ моментъ источникомъ паденія потенціала, направленнаго въ ту же сторону. Такъ, безъ сомнѣнія, и понимаютъ молекулярную теорію немногіе оставшіеся вѣрными ей и понынѣ адепты ея, къ числу которыхъ принадлежатъ также и нѣкоторые выдающіеся ученые, которыхъ отнюдь нельзя упрекнуть въ незнаніи элементарныхъ законовъ физики.

чего, кромѣ совершенно абстрактнаго положенія о покойномъ и разраженномъ состояніи протоплазмы, какъ источникѣ электрическихъ токовъ; и въ то время какъ, согласно взглядамъ Дю-Буа Реймона, электрическій токъ наглядным образомъ представляется необходимой функціей живой матеріи, по теоріи Германа онъ является только вторичной ея функціей, какъ слѣдствіе какихъ-то неизвѣстныхъ измѣненій химизма въ ея дѣятельной части. Благодаря этому нѣкоторые противники Германа усматриваютъ въ его ученіи будто бы даже полное отрицаніе электромоторной способности живой ткани, такъ какъ-де электропродукція по Герману является не прямымъ слѣдствіемъ ея жизнедѣятельности, какъ напр. теплопродукція, а результатомъ взаимодѣйствія тѣхъ химическихъ продуктовъ, которые развились при этой жизнедѣятельности. На это можно отвѣтить, что относительно молекулярнаго механизма теплопроизводства въ живой ткани тоже ничего опредѣленнаго не извѣстно. Быть можетъ, и здѣсь дѣло сводится на внутриплазменныя колебанія осмотическаго давленія (см. ниже) продуктовъ химическаго метаморфоза.

Во всякомъ случаѣ объ эти теоріи имѣютъ свою цѣнность и свой научный интересъ. Молекулярная теорія даетъ болѣе конкретное и наглядное представленіе о самомъ механизмѣ совершающагося явленія, зато она теряетъ въ простотѣ и однообразіи основнаго принципа и, связывая себя многими условностями, съ трудомъ можетъ быть примѣняема для объясненія вновь открываемыхъ фактовъ.

Однако несомнѣнно, что если бы Дю-Буа Реймонъ послѣ открытій Германа и Энгельмана не настаивалъ на принятіи своей теоріи непремѣнно во всемъ объемѣ, а согласился на компромиссъ и на нѣкоторыя измѣненія соотвѣтственно новымъ фактамъ, выдвинутымъ Германомъ, напр., признаніе его демаркаціонной плоскости, хотя бы въ формѣ отдѣленныхъ электромоторныхъ очаговъ — молекулъ на отмирающихъ концахъ мышечныхъ волоконъ, то объ эти теоріи безъ особаго труда можно было бы слить въ одну, причемъ онѣ, взаимно дополняя другъ друга, являлись бы естественнымъ выраженіемъ послѣдовательной эволюціи одной и той же научной идеи.

Съ этой точки зрѣнія выдѣлять теорію Германа, какъ нѣчто самостоятельное и несовмѣстимое съ теоріей Дю-Буа Реймона, не представляется основаній, такъ какъ гипотетическое предположеніе объ электрической противоположности между живой и умирающей протоплазмой, которое Германъ кладетъ въ основу своего взгляда, не можетъ составить еще того, что принято называть теоріей въ строго научномъ смыслѣ слова, хотя бы это предположеніе и оказалось вѣрнымъ. Подъ теоріей мы должны подразумѣвать стройную систему, детально разработанную во всѣхъ частяхъ — зданіе, въ которомъ каждый камень опирается на другіе и самъ поддерживаетъ другіе. Такова теорія Дю-Буа Реймона. Ничего подобнаго Герману создавать не приходилось, такъ какъ настоящая теорія токовъ живыхъ тканей, — послѣдовательность и классификація явленій, ученіе о распредѣленіи петель тока при различныхъ случаяхъ отведенія отъ мышцы и нерва, — были даны Дю-Буа Реймономъ, и безъ измѣненія приняты Германомъ; послѣдній не прибавилъ, по существу, къ этому ничего новаго, онъ только выставилъ какъ основу электрической дѣятельности живого вещества демаркаціонную, то есть пограничную между живой и умирающей протоплазмой плоскость, вмѣсто электродвигательной молекулы Дю-Буа Реймона, и благодаря этому могъ отбросить тѣ вспомогательныя гипотезы, которыя нужны были Дю-Буа Реймону. Въ тѣхъ же случаяхъ, когда дѣлались попытки воспользоваться основными положеніями Германа, какъ самостоятельной теоріей, онѣ оканчивались неудачно (электромоторная дѣятельность железъ, а также рыбъ). И, конечно, если бы Дю-Буа Реймону не пришла въ голову злосчастная мысль оспаривать несомнѣнные факты или придумывать сложныя и запутанныя объясненія для того, что было бы такъ просто объяснить, если бы онъ не хотѣлъ во что бы то ни стало отстоять свою молекулу, какъ нѣчто незыблемое, — то никому бы и въ голову не пришла мысль, что факты, найденные Германомъ, могутъ умалить его заслуги предъ физіологіей, такъ какъ открытія Германа представляютъ только дальнѣйшее развитіе и усовершенствованіе взглядовъ Дю-Буа Реймона.

Ни Дю-Буа Реймонъ, принявшій исходнымъ пунктомъ

своей теоріи предсуществованіе въ живомъ веществѣ очаговъ (Heerde) [1]) электрической дѣятельности, въ видѣ электродвигательныхъ молекулъ, ни Германъ, исходившій изъ основного положенія объ отрицательности отмирающей и раздраженной протоплазмы по отношенію къ живой и пребывающей въ покоѣ, не входятъ въ детальное разсмотрѣніе природы этихъ молекулъ, или сущности совершающихся при умираніи процессовъ, и довольствуются только установленіемъ самаго принципа, оставляя открытымъ вопросъ о его сущности.

Однако никогда не было недостатка въ попыткахъ проникнуть въ болѣе детальный механизмъ дѣла, и многіе изслѣдователи пытались излагать свои взгляды на этотъ предметъ.

Такъ, по Ранке [2]) молекулы могутъ быть представлены въ видѣ кислотно-щелочныхъ цѣпей, въ которыхъ роль отрицательнаго члена играетъ кислота; это предположеніе можетъ быть истолковано также и въ духѣ теоріи Германа, такъ какъ умирающая протоплазма, получая отрицательныя свойства, въ то-же время принимаетъ кислотный характеръ.

Грюнгагенъ, исходя изъ опытовъ надъ пористыми цилиндрами, принимаетъ за основной электродвигательный элементъ мышцы первичное мышечное волоконце, которое, вслѣдствіе процессовъ пропитыванія его окружающей жидкостью (саркоплазма), получаетъ отрицательное напряженіе на поперечномъ, и положительное на продольномъ разрѣзѣ, какъ это бываетъ при пропитываніи жидкостью пористыхъ цилиндровъ [3]). Такимъ образомъ съ этой точки зрѣнія токи живыхъ тканей представляютъ такъ называемые токи набуханія. Беккерель считалъ ихъ явленіями электрокапиллярными [4]). Подобный же взглядъ развилъ Кункель для объясненія электрическихъ токовъ растеній.

Эти теоріи не получили однако сколько-нибудь значительнаго распространенія. Болѣе посчастливилось въ этомъ отношеніи теоріи Герингъ-Бидермана, которая представляетъ видоизмѣненіе теоріи Германа. По этой теоріи слѣдуетъ различать два основныхъ рода явленій, совершающихся въ тканяхъ: процессы регрессивнаго характера, связанные съ распадомъ живого вещества—диссимиляцій его, и процессы прогрессивнаго характера—ассимиляціонные, сопровождающіеся возстановленіемъ живого вещества. Первые преобладаютъ при дѣятельномъ состояніи протоплазмы и сообщаютъ ей отрицательныя свойства; вторые же берутъ перевѣсъ во время покоя и дѣлаютъ протоплазму положительной [5]). Эта теорія даетъ возможность повидимому проще объяснить нѣкоторыя детальныя явленія мышечнаго тока, напр. такъ называемое положительное колебаніе его (см. ниже гл. IV); на самомъ же дѣлѣ подобныя гипотезы чисто спекулятивнаго характера едва-ли могутъ особенно способствовать прогрессу науки. Взглядъ Герингъ-Бидермана раздѣляется также Валлеромъ [6]).

Въ недавнее время (1880) Бернштейнъ предложилъ свою «электрохимическую молекулярную теорію» [7]), согласно которой каждое мышечное волокно, нервъ и т. д. представляются состоящими изъ молекулъ сложнаго химическаго состава, вродѣ живыхъ бѣлковыхъ молекулъ Пфлюгера. Эти молекулы окружены со всѣхъ сторонъ питательной жидкостью (параплазмой), и соединены вдоль въ параллельные ряды при помощи атомовъ кислорода, продольная же ихъ поверхность заряжена легко окисляемыми углеродными группами. При на-

[1]) Ges. Abh. Bd. II, S. 291.

[2]) T. Ranke. Die Lebensbedingungen der Nerven. 1868. Цит. по Герману. Руков. физіол. т. I (1), стр. 354.

[3]) Grünhagen. Die electromotorischen Wirkungen lebender Gewebe vom Standpunkte einer neuen Hypothese über die Ursachen thierischer und pflanzlicher Electricität. Berlin. 1873. Грюнгагенъ производилъ свои опыты такимъ образомъ, что наполнялъ цилиндръ изъ необожженной глины дистиллированной водой и отводилъ токъ отъ поверхности налитой воды и боковой стѣнки цилиндра,—получался токъ въ направленіи (во внѣшней цѣпи) отъ боковой стѣнки къ поверхности воды, если же отводился токъ отъ боковой поверхности и нижней поверхности (дна) цилиндра, то направленіе его было неопредѣленное (стр. 10). Растворъ сѣрной кислоты давалъ токи въ томъ же направленіи, что и дистиллированная вода, а растворъ щелочи—въ обратномъ (стр. 16).

[1]) Германъ. Рук. физіол. I, стр. 355.

[2]) W. Biedermann. Elektrophysiologie. I. Abth. 1895 r. S. 300.

[3]) Tierische Elektricität. 1899. SS. 54, 71, 77.

[4]) Bernstein. Untersuchungen aus dem physiol. Institut der Universität Halle. I. Heft. 1888. Цит. по W. Biedermann. Elektrophysiologie. I Abth. SS. 298—299.

несеніи поперечнаго разрѣза, вслѣдствіе произведеннаго имъ раздраженія, происходитъ окисленіе углерода на счетъ кислорода, при этомъ, вслѣдствіе движенія атомовъ кислорода отъ поперечнаго разрѣза къ продольной поверхности, въ паралазмѣ должны появиться петли токовъ, имѣющіе направленіе отъ продольной поверхности къ поперечной, которыя и будутъ наблюдаемы въ гальванометрѣ.

Всѣ эти взгляды имѣютъ однако только скорѣе историческое значеніе, такъ какъ исходятъ изъ чисто спекулятивныхъ предположеній, могущихъ, пожалуй, при нѣкоторой натяжкѣ объяснить наличность имѣющихся фактовъ, но едва-ли могущихъ способствовать внесенію въ область изучаемыхъ явленій чего-либо новаго. Поэтому, и до сихъ поръ единственными разработанными теоріями въ электрофизіологіи остаются молекулярная теорія Дю-Буа Реймона и альтераціонная теорія Германа, причемъ, конечно, каждому физіологу предоставляется индивидуализировать ихъ по своему личному вкусу [1]).

Бросая ретроспективный взглядъ на ходъ развитія электрофизіологическихъ теорій, нельзя не замѣтить параллелизма, который существовалъ всегда между этими послѣдними и господствовавшими въ соотвѣтствующее время въ физикѣ взглядами на природу электрическаго тока. Для Гальвани нервномышечный препаратъ лягушечьей лапки былъ просто живой лейденской банкой. Вольта, открывшій собственно гальваническій токъ и видѣвшій причину его въ контактѣ

[1]) Какъ уже было упомянуто въ предисловіи, въ послѣдніе 2—3 года вопросъ о концентраціонномъ происхожденіи электрическихъ токовъ живыхъ тканей началъ разрабатываться и за-границей. Относящіяся сюда работы Макдональда (Proceed. Roy. Soc., 1900), Оккербломъ (Pflüger's Arch., 1901) и Бернштейна (Pflüger's Arch., 1902) будутъ разсмотрѣны нами въ послѣдующемъ изложеніи. Кромѣ того здѣсь слѣдуетъ упомянуть, что въ послѣднее время Дюбуа (R. Dubois) въ рядѣ сообщеній (Comptes rend. de la soc. de biologie, 1899 pp. 923 — 925, 1900 pp. 534 — 535 и Arch. d. physiol., 1900 pp. 6—10) развиваетъ совершенно особый, спекулятивный взглядъ на происхожденіе электромоторной дѣятельности живыхъ тканей, какъ на результатъ ферментативныхъ процессовъ, совершающихся въ протоплазмѣ. Появившейся недавно работой проф. Чирьева (Journal de physiol., IV. 4, 1902), посвященной вопросу о теоріи предсуществованія съ современной точки зрѣнія, я, къ сожалѣнію, воспользоваться уже не могъ.

двухъ разнородныхъ проводниковъ, всецѣло провелъ эту же идею и въ электрофизіологію. Молекулярная теорія Дю-Буа Реймона представляетъ тоже только стройную схему, построенную на тѣхъ же принципахъ контакта двухъ неоднородныхъ проводниковъ, погруженныхъ въ электропроводящую жидкость, какъ построены обыкновенныя гальваническія батареи, бывшія извѣстными въ то время; ея исходный пунктъ все та же мѣдно-цинковая пара, и схема мышцы или нерва, построенныхъ изъ диполярныхъ молекулъ, во многомъ напоминаетъ схему проводящаго токъ раствора какого-нибудь электролита по теоріи Гроттуса (1805), которая была господствующей въ 40-хъ годахъ, когда писалъ Дю-Буа Реймонъ. Наконецъ 60-ые годы, вмѣстѣ съ принципами химической энергетики и химическихъ источниковъ гальваническаго тока, выдвинули теорію Германа.

Но въ то время, какъ эволюція идей въ физикѣ шла, соотвѣтственно болѣе высокому уровню развитія этой науки, ровно и гладко, въ электрофизіологіи онѣ прививались гораздо труднѣе и всегда встрѣчали въ началѣ рѣзкій отпоръ. При этомъ, слѣдя за исторіей развитія электрофизіологической мысли, нельзя не замѣтить той характерной особенности, что борьба мнѣній сводилась здѣсь всегда, въ концѣ концовъ, на почву вопроса о признаніи, или не признаніи электропродукціи, какъ витальной функціи живой матеріи, причемъ новаторовъ всегда обвиняли въ отрицаніи ея. Такъ было въ самомъ началѣ въ спорѣ гальванистовъ съ «противникомъ животнаго электричества» Вольта. Дю-Буа Реймонъ, положивши въ основу своей электромолекулярной гипотезы строенія живой ткани контактную теорію Вольта, но признавая, подобно Гальвани, въ то же время тѣснѣйшую связь между электромоторною и другими жизненными функціями ея, далъ почву для примиренія обѣихъ сторонъ. [1]) Но при появленіи на сцену альтераціонной теоріи Германа повторилась та же самая исторія. Альтераціонную теорію стали

[1]) Какъ указано выше, уже Маттеучи въ своихъ взглядахъ совмѣщалъ оба эти ученія, но ему не удалось создать сколько-нибудь стройной электрофизіологической теоріи.

обвинять въ томъ, что, выдвигая на первый планъ различіе химизма покойной и дѣятельной живой матеріи, какъ источникъ появляющагося при этомъ гальваническаго тока, она тѣмъ самымъ какъ бы отрицаетъ значеніе этого электрическаго тока, какъ непосредственной жизненной функціи протоплазмы.

Неосновательность такихъ толкованій была указана, и причина ихъ станетъ понятна, если принять во вниманіе, что область животнаго электричества всегда казалось нѣсколько таинственной не только для диллетантовъ, но и для профессіональныхъ ученыхъ; несомнѣнное взаимодѣйствіе между токомъ электрическимъ и нервнымъ, а слѣдовательно, и съ самой тончайшей функціей живого вещества, всегда давало почву для гипотезъ объ электричествѣ, какъ primum movens vitae. Поэтому неудивительно, что всякая попытка, клонившаяся къ тому, чтобы отнять у животнаго электричества эту маску таинственности, разсматривая его на ряду съ другими функціями живой матеріи, какъ слѣдствіе, а не какъ причину жизнедѣятельности,—всегда вызывала разочарованіе, оставляя снова, и снова нашъ умъ совершенно безпомощнымъ, лицомъ къ лицу съ этой великой и вѣчной проблемой жизни.

Глава II.

Возникновеніе и проведеніе электрическаго тока въ растворахъ по теоріи свободныхъ іоновъ Аррeніуса [1]).

Преобладающее направленіе, которымъ ознаменовались послѣднія десятилѣтія 900-хъ годовъ въ области физико-химическихъ научныхъ открытій,—это стремленіе свесть всѣ главнѣйшія проявленія электрическихъ, магнитныхъ, свѣтовыхъ, химическихъ и т. п. свойствъ веществъ на взаимодѣйствіе тѣхъ молекулярныхъ силъ, которыя заключены въ мельчайшихъ недѣлимыхъ частицахъ матеріи—атомахъ.

Сильный толчекъ въ этомъ направленіи дала появившаяся въ 1887 году работа Вантъ-Гоффа подъ заглавіемъ: «Роль осмотическаго давленія въ аналогіи между растворами и газами» [2]), въ которой голландскій ученый устанавливаетъ тотъ фактъ, что частицы всякаго растворенпаго въ водѣ вещества подчиняются тѣмъ же законамъ и находятся подъ вліяніемъ такихъ же молекулярныхъ силъ, какъ и частицы газовъ.

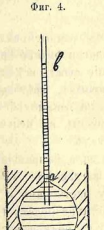
Способъ, которымъ доказывается этотъ законъ Вантъ-Гоффа, очень простъ. Извѣстно, что если взять приготовленный изъ какой-нибудь животной перепонки пузырь, наполнить его растворомъ какого-нибудь вещества, напр. сахара, и затѣмъ погрузить въ чистую воду (фиг. 4), то, вслѣдствіе такъ называемаго *осмоза*, чистая вода будетъ переходить въ растворъ сахара и заставитъ пузырь растягиваться до тѣхъ поръ, пока

[1]) При изложеніи этой главы я пользовался главнымъ образомъ книгой Ле-Блана: M. Le Blanc. Lehrbuch der Electrochemie. 1896. Главнѣйшія относящіяся сюда данныя можно найти въ каждомъ учебникѣ по электрохиміи или теоретической химіи.

[2]) Zeitschr. physik. Chemie. Bd. I, S. 631. 1887.

напряженіе растянутыхъ стѣнокъ его не уравновѣситъ притягательную силу раствора сахара на воду, которая называется въ физикѣ осмотическимъ давленіемъ раствора. Съ точки зрѣнія закона Вантъ-Гоффа явленіе осмоза объясняется очень просто. Молекулы растворяннаго въ водѣ вещества, находясь въ постоянномъ движеніи подобно молекуламъ газа, будутъ производить на стѣнки заключающаго ихъ пузыря такое же давленіе, какое производятъ частицы газа на стѣнки сосуда, въ которомъ онъ содержится. Животныя перепонки принадлежатъ къ числу такъ называемыхъ полупроницаемыхъ перепонокъ (semipermeable oder halbdurchlässige Membranen), т. е. такихъ, которыя свободно пропускаютъ черезъ себя молекулы воды, будучи почти совершенно непроницаемы для молекулъ растворенныхъ въ ней веществъ. Вслѣдствіе этого, частицы растворяннаго вещества будутъ только производить давленіе на стѣнки пузыря, который будетъ растягиваться, а частицы воды начнутъ проникать въ него извнѣ. Давленіе, производимое на стѣнки пузыря растворенными молекулами, и есть то, что называется осмотическимъ давленіемъ. Чтобы найти величину этого давленія достаточно вставить въ наполненный растворомъ пузырь (фиг. 4) конецъ стеклянной трубочки (a). Тогда, при погруженіи въ воду, жидкость подымется въ трубкѣ до извѣстнаго уровня (b). Вѣсъ приподнятаго такимъ образомъ столба жидкости (ab) и будетъ пропорціоналенъ величинѣ напряженія стѣнокъ растянутаго пузыря, т. е. выразить собою величину осмотическаго давленія, падающаго на часть внутренней поверхности пузыря, равную поперечному сѣченію вставленной трубки.

Фиг. 4.



Опытъ съ осмотическимъ давленіемъ.

Вантъ-Гоффъ доказалъ далѣе, что растворенное въ водѣ вещество производитъ на стѣнки заключающаго его пузыря осмотическое давленіе, въ точности равное по величинѣ давленію, которое производитъ эквивалентное количество любого газа, заключеннаго въ сосудъ такого же объема, на стѣнки этого сосуда.

Извѣстно, что всѣ газы подчиняются такъ называемому закону Авогадро-Жерара, который гласитъ, что въ равныхъ объемахъ всѣхъ газовъ, при одномъ и томъ же давленіи и температурѣ, заключается одинаковое число частицъ, и обратно—содержащія одинаковое число частицъ, т. е. эквивалентныя количества различныхъ газовъ, будучи заключены въ равныхъ объемахъ, будутъ находиться подъ одинаковымъ давленіемъ. Такимъ образомъ, если взять сосудъ вмѣстимостью въ 1 литръ и помѣщать туда эквивалентныя количества разныхъ газовъ,—напр. 0,01 гр. водорода, 0,16 гр. кислорода, 0,44 гр. углекислоты,—то они будутъ производить на стѣнки его одинаковое давленіе, для даннаго примѣра равное приблизительно $^1/_{10}$ атмосферы, т. е. равное вѣсу ртутнаго столба въ 76 mm. высоты, или же водянаго столбу въ 76.13,5=1 метру (1012,5 mm.). Если законъ Авогадро-Жерара приложимъ и къ частицамъ растворенныхъ въ водѣ веществъ, то слѣдуетъ ожидать, что при погруженіи въ воду пузыря, вмѣстимостью въ одинъ литръ, и заключающаго эквивалентное количество растворяннаго сахара (т. е. 3,42 gm., такъ какъ молекулярный вѣсъ сахара $C_{12}H_{22}O_{11}$ равенъ $12.12+22.1+16.11=342$), водяной столбъ въ трубкѣ ab долженъ достигнуть высоты 1 метра. Опытъ вполнѣ подтверждаетъ такое предположеніе.

Дальнѣйшія изслѣдованія, произведенныя въ этомъ направленіи надъ многими веществами, вполнѣ доказали, что осмотическое давленіе, подобно давленію газовъ, строго пропорціонально количеству находящихся въ растворахъ веществъ.

Такимъ образомъ, понятіе объ осмотическомъ давленіи растворовъ совершенно аналогично понятію о давленіи газовъ. Подобно тому, какъ давленіе газа увеличивается пропорціонально уменьшенію объема, въ которомъ онъ заключенъ (законъ Бойль-Маріотта), такъ и осмотическое давленіе увеличивается съ концентраціей раствора, т. е. съ уменьшеніемъ объема, въ которомъ растворено данное количество вещества. Но, съ другой стороны, былъ открытъ цѣлый рядъ растворяющихся въ водѣ веществъ, осмотическое давленіе которыхъ постоянно оказы-

валось больше, чѣмъ слѣдовало изъ теоріи: выходило такъ, какъ будто въ растворѣ гораздо больше молекулъ, чѣмъ должно быть, судя по количеству растворенного вещества.

Объясненіемъ этого явленія мы обязаны шведскому химику Аррениусу, который въ 1887 году опубликовалъ свою теорію «диссоціаціи» растворенныхъ въ водѣ веществъ и доказалъ, что молекулы всѣхъ тѣхъ веществъ, растворы которыхъ, повидимому, уклоняются отъ закона Вантъ-Гоффа, диссоціируютъ въ растворѣ, т. е. распадаются въ водѣ на двѣ или болѣе частей, такъ что въ растворѣ находится дѣйствительно больше отдѣльныхъ молекулъ, чѣмъ предполагалось [1]).

Различные растворы обнаруживаютъ не въ одинаковой степени уклоненіе отъ закона Вантъ-Гоффа. Соотвѣтственно съ этимъ оказывается, что степень диссоціаціи ихъ не одинакова. Нѣкоторые вещества, будучи растворены въ водѣ, диссоціируютъ почти вполнѣ, т. е. почти всѣ находящіяся въ растворѣ молекулы ихъ распадаются на части; другія диссоціированы очень мало. Такъ напр., если взять слабый $^1/_{10}{}^0/_0$ растворъ хлористаго калія, то осмотическое давленіе его почти вдвое больше, чѣмъ можно было бы заключить на основаніи его молекулярнаго вѣса, откуда слѣдуетъ, что почти всѣ находившіяся въ растворѣ молекулы KCl распались на свои составныя части K и Cl, тогда какъ молекула тростниковаго сахара совсѣмъ не распадается въ водномъ растворѣ, соотвѣтственно чему и осмотическое давленіе сахара вполнѣ совпадаетъ съ тѣмъ, которое вычисляется на основаніи его молекулярнаго вѣса. Вообще процентъ диссоціировавшихъ молекулъ увеличивается съ уменьшеніемъ концентраціи раствора,

[1]) Одно изъ доказательствъ теоріи Аррениуса заключается въ наблюденіи надъ замерзаніемъ растворовъ. Извѣстно, что точка замерзанія воды понижается, если въ ней находится въ растворѣ какое-нибудь вещество, причемъ теоретически возможно вычислить, насколько понизится точка замерзанія въ присутствіи извѣстнаго числа растворенныхъ молекулъ. Оказывается, что въ растворахъ, уклоняющихся отъ закона Вантъ-Гоффа, пониженіе точки замерзанія всегда бываетъ больше, чѣмъ слѣдуетъ изъ вычисленій, т. е., другими словами, число свободныхъ частицъ въ растворѣ въ дѣйствительности больше, чѣмъ слѣдовало бы, если бы не было диссоціаціи, и притомъ это приращеніе соотвѣтствуетъ въ точности увеличенію осмотическаго давленія.

но не для всѣхъ веществъ одинаково. Если же концентрація увеличивается, напр. благодаря испаренію воды, то мало-помалу всѣ диссоціированныя части опять соединяются.

Далѣе было замѣчено, что всѣ диссоціированные растворы принадлежатъ къ числу электролитовъ, а растворы веществъ, молекулы которыхъ не распадаются въ водѣ, электрическаго тока не проводятъ, и притомъ проводимость раствора прямо пропорціональна количеству находящихся въ нихъ диссоціированныхъ молекулъ. Отсюда слѣдуетъ заключить, что при диссоціаціи молекула распадается именно на такія части, которыя служатъ для переноса электричества при прохожденіи тока черезъ растворы, т. е. на іоны, положительные и отрицательные.

Такимъ образомъ, молекула хлористаго натрія (NaCl) распадается на положительный $\overset{+}{Na}$ и отрицательный $\overset{-}{Cl}$, сѣрнокислый калій SO_4K_2 даетъ двѣ частицы положительнаго калія $\overset{+}{K}\,\overset{+}{K}$ и одну частицу отрицательнаго радикала $\overline{SO_4}$, сѣрная кислота (SO_4H_2) даетъ тотъ же отрицательный радикалъ $\overline{SO}$ и два положительныхъ водорода $\overset{+}{H}\,\overset{+}{H}$. Положительные и отрицательные іоны распавшейся такимъ образомъ молекулы, находясь въ растворѣ, обладаютъ всѣми свойствами самостоятельной частицы, производятъ осмотическое давленіе, понижаютъ точку замерзанія и т. д. Не выдѣляются же они изъ раствора только потому, что притяженія находящихся на нихъ электрическихъ зарядовъ, противоположныхъ по знаку, но равныхъ по величинѣ (законъ Фарадея), взаимно нейтрализуя другъ друга, удерживаютъ ихъ въ нѣкоторой, такъ сказать, подвижной связи.

Нарушить эту связь и получить іоны въ свободномъ состояніи можно только пропуская черезъ растворъ электрическій токъ. При пропусканіи электрическаго тока, электроды гальванической батареи, — положительный (анодъ) и отрицательный (катодъ), — будучи погружены въ растворъ, начнутъ притягивать каждый противуположные имъ по знаку іоны, которые и станутъ выдѣляться на электродахъ: на положительномъ анодѣ будутъ выдѣляться отрицательные іоны (Cl, SO_4 и

т. д.), а на отрицательномъ катодѣ—положительные ($\overset{+}{Na}$, $\overset{+}{H}$, $\overset{+}{K}$ и т. д.). Вмѣсто выдѣлившихся такимъ образомъ на электродахъ іоновъ, часть недиссоціированныхъ молекулъ, находящихся въ растворѣ, распадется на свободные іоны, и такъ будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока весь электролитъ не будетъ разложенъ токомъ. Такимъ образомъ, весь процессъ при прохожденіи электрическаго тока черезъ жидкость состоитъ въ этомъ послѣдовательномъ распаденіи молекулъ электролита на положительные и отрицательные іоны, и выдѣленіи этихъ іоновъ въ свободномъ видѣ на электродахъ. Положительное и отрицательное электричество какъ бы ѣдетъ на іонахъ въ двухъ противуположныхъ направленіяхъ отъ одного электрода къ другому. Отсюда слѣдуетъ ожидать, что чѣмъ больше распавшихся молекулъ находится въ растворѣ, тѣмъ лучше онъ будетъ проводить токъ. Аррeніусъ, дѣйствительно, доказалъ, что приводимость раствора какого-нибудь электролита прямо пропорціональна степени его диссоціаціи, не диссоціировавшая же часть вовсе не принимаетъ никакого участія въ проведеніи тока и только служитъ для пополненія убыли диссоціированныхъ молекулъ. Вещества, которыя совсѣмъ не диссоціируютъ въ растворѣ (глицеринъ, сахаръ и др.), не проводятъ и электрическаго тока, и примѣсь ихъ къ раствору не вліяетъ прямо на его проводимость. Дистиллированная вода проводитъ токъ очень плохо, потому что степень диссоціаціи ея ($H_2O = \overset{+}{2H} - OH$) минимальна.

Выше уже было упомянуто, что процентъ диссоціированныхъ молекулъ, при одной и той же концентраціи раствора, для разныхъ веществъ различенъ. Въ то время, напр., какъ нормальный растворъ ѣдкаго калія содержитъ около 80% распавшихся молекулъ, растворъ сѣрнокислаго магнія (SO_4Mg)—только около 30%. Точно также различенъ онъ и для одного и того же вещества, взятаго при разныхъ концентраціяхъ. Вообще же для всѣхъ веществъ онъ увеличивается при уменьшеніи концентраціи. Такъ, напр., нормальный растворъ KCl [1]) содер-

[1]) Нормальнымъ называется растворъ, содержащій въ литрѣ одну граммо-молекулу даннаго вещества, т. е. количество его въ граммахъ, равное его молекулярному вѣсу (напр. 1 грам.-молек. KCl=39+35=74 граммамъ).

житъ 75% диссоціированныхъ молекулъ, $\frac{1}{10}$-нормальный—86%, $\frac{1}{100}$ норм.—94%, а $\frac{1}{1000}$ норм.—98%, т. е. почти совершенно диссоціированъ. Соотвѣтственно этому, и электропроводимость перваго будетъ только въ 8,84 раза больше, чѣмъ второго, хотя общее количество электролита въ первомъ въ 10 разъ больше, чѣмъ во второмъ. Только для такихъ растворовъ, которые уже совершенно диссоціированы, степень проводимости уменьшается прямо пропорціонально уменьшенію количества растворяемаго вещества. Для большинства солей растворы ниже 1% можно, безъ большой погрѣшности, считать совершенно диссоціированными. Такъ напр., $\frac{1}{100}$ норм. растворъ хлористаго калія содержитъ, какъ только что сказано, 94% диссоціированныхъ молекулъ; и такъ какъ въ этихъ предѣлахъ процентъ диссоціаціи въ зависимости отъ концентраціи измѣняется очень мало (для $\frac{1}{1000}$ норм. KCl — 98%), то можно считать, что при такихъ разведеніяхъ всѣ находящіяся въ растворѣ молекулы электролита находятся уже въ распавшемся состояніи, а потому проводимость раствора будетъ измѣняться въ зависимости отъ всего количества растворяемаго вещества, т. е. обратно пропорціонально концентраціи.

Прямая пропорціональность между электропроводимостью раствора и количествомъ находящихся въ немъ распавшихся молекулъ электролита (гевр. іоновъ) имѣетъ мѣсто только по отношенію къ растворамъ одного и того-же электролита, проводимость же двухъ растворовъ различныхъ электролитовъ можетъ быть различна, несмотря на то, что они будутъ содержать равныя количества распавшихся молекулъ. Однако это обстоятельство нисколько не противорѣчитъ теоріи Аррeніуса и объясняется неодинаковою способностью различныхъ іоновъ переносить электричество. Извѣстно, что по закону Фарадея, при прохожденіи черезъ растворы разныхъ электролитовъ тока опредѣленной силы, въ единицу времени на электродахъ всегда выдѣляются количества продуктовъ электролиза, обратно пропорціональныя ихъ химическимъ эквивалентамъ. Если, напримѣръ, взять растворы NaCl, KCl, $ZnCl_2$ и пропускать черезъ каждый изъ нихъ въ теченіе одной секунды токъ силою въ 1 амперъ,

то на каждую выдѣленную токомъ частицу NaCl въ первомъ растворѣ придется тоже одна частица KCl — во второмъ, въ третьемъ же растворѣ число разложившихся молекулъ $ZnCl_2$ будетъ вдвое меньше. Однако очевидно, что на положительномъ электродѣ выдѣлится при этомъ хлора столько же, какъ и въ первыхъ двухъ растворахъ, такъ какъ, хотя число разложившихся молекулъ $ZnCl_2$ вдвое меньше, чѣмъ NaCl и KCl, но каждая изъ нихъ даетъ двойное количество Cl; количество же выдѣлившагося на отрицательномъ электродѣ двухатомнаго цинка будетъ вдвое меньше, и такъ какъ въ данномъ случаѣ черезъ всѣ три раствора прошло одинаковое количество электричества, то отсюда слѣдуетъ заключить, что каждый іонъ Zn перенесъ вдвое больше электричества, чѣмъ іонъ Na или K. Вообще каждый одноатомный іонъ, независимо отъ своей природы, переноситъ всегда одно и то же количество электричества, двухатомный — вдвое больше, трехатомный — втрое и т. д. [1]). Поэтому, если взять два раствора, напр. NaCl и $ZnCl_2$ или $ZnSO_4$, содержащихъ совершенно одинаковое количество диссоціированныхъ, т. е. способныхъ къ проведенію тока молекулъ, то приводимость перваго должна быть все-таки вдвое меньше, чѣмъ второго или третьяго.

Этимъ обстоятельствомъ, однако, вопросъ о проводимости не исчерпывается. Если возьмемъ два раствора солей съ одинаковой атомностью, напр. NaCl и KCl, притомъ такіе ра-

[1]) Если черезъ растворъ будемъ пропускать токъ, сила котораго равна единицѣ (амперъ), то въ теченіе единицы времени (1 секунда) черезъ него пройдетъ количество электричества, равное единицѣ (1 кулонъ). При этомъ выдѣлится на электродахъ: $0{,}00001035 = \frac{1}{9\,600}$ гр. водорода, $\frac{35}{96600}$ гр. хлора, $\frac{23}{96600}$ гр. натрія, $\frac{65}{96600}$ гр. цинка, $\frac{200}{96600.2}$ гр. ртути, если взята соль окиси (гдѣ ртуть двухатомна), и $\frac{200}{96600}$ гр., если взята соль закиси. Такимъ образомъ, при прохожденіи черезъ растворъ 1-го кулона электричества, на каждомъ изъ электродовъ выдѣлются всѣ одноатомные іоны въ количествѣ $\frac{a}{96600}$ грам., двухатомные $\frac{a}{96600.2}$ гр., и вообще n-атомные въ колич. $\frac{a}{96600n}$ грам., гдѣ a есть атомный вѣсъ элемента, дающаго іонъ, или, что все равно, вѣсъ одной граммо-молекулы этого вещества, выраженный въ граммахъ. Отсюда слѣдуетъ, что выдѣленіе 1 гр.-мол. одноатомнаго металла всегда сопровождается переносомъ 96600 кул., 2-хъ-атомнаго—96600.2 кул., n-атомнаго—96600_n кулоновъ электричества.

створы, чтобы число диссоціированныхъ молекулъ въ томъ и въ другомъ было одинаково, и будемъ пропускать черезъ нихъ токъ, то окажется что все-таки проводимость ихъ не одинакова,— именно, хлористый калій проводитъ токъ въ 1,2 раза лучше, чѣмъ хлористый натрій. Такъ какъ по закону Фарадея количество электричества, которое переноситъ каждый іонъ Na и K одинаково, и число іоновъ въ первомъ и во второмъ растворѣ также одинаково, то такую разницу можно отнесть только на *различіе въ скоростяхъ*, съ которыми движутся оба іона. Дѣйствительно, на основаніи соображеній, вдаваться въ которыя здѣсь мы не будемъ, можно доказать, что іоны движутся не одинаково быстро. Такъ если принять скорость движенія іона водорода (при t. 18°C) за 290, то получатся слѣдующія скорости для отдѣльныхъ іоновъ [1]):

Катіоны:		Аніоны:	
H	=290	OH	=160
Na	= 41	Cl	= 62
K	= 60	NO_3	= 55
NH_4	= 60	SO_4	= 63
Li	= 33	CO_3	= 62
Zn	= 43	PO_4H_2	= 40
Ca	= 48	$C_2H_3O_2$	= 30

Скорость іоновъ увеличивается съ температурой, но незначительно, въ среднемъ для большинства іоновъ около 2% на градусъ, причемъ это увеличеніе тѣмъ меньше, чѣмъ больше первоначальная скорость, для водорода, напр., оно равняется около 1%. У всѣхъ сложныхъ радикаловъ, какъ $C_3H_5O_3$ (молоч. кис.), $C_2H_3O_2$ (уксус. кис.) и др., скорость почти одинакова

[1]) Приводимыя числа принадлежатъ Ф. Кольраушу (Wied. Ann. Bd. Bd. 6, 26, 50, 66). Скорость для іоновъ OH (гидроксилъ) и CO_3 согласована съ новѣйшими измѣреніями (W. A. Bd. 66. 1898), а скорость іона PO_4H_2 вычислена изъ предѣльной проводимости фосфорной кислоты, которая по Кольраушу (W. A. Bd. 26, S. 204) должна быть равна 330 = 290 + 40; если же принимать ее равной 321 (Ср. G. Wiedemann. Die Lehre von der Elektricität. 2 Aufl. Bd. I, S. 644), то получится величина 31. (Какъ увидимъ ниже, фосфорная кислота диссоціируетъ по типу бинарнаго электролита, т. е. съ отщепленіемъ только одного іона водорода $PO_4H_3 = \overline{PO_4H_2} + \overset{+}{H}$).

БІБЛІОТЕКА Харьковського Медичн. Інституту

(около 30), причемъ вообще чѣмъ сложнѣе радикалъ, тѣмъ медленнѣе онъ движется.

Приведенныя числа указываютъ только относительную скорость движенія іоновъ, абсолютная величина которой должна быть очень незначительна, вслѣдствіе того громаднаго трепія, какое должны испытывать они, принимая въ разсчетъ ихъ чрезвычайную малость. По вычисленіямъ Кольрауша, эта скорость для самаго быстраго іона, водорода, не превышаетъ нѣсколько сотыхъ или десятыхъ долей миллиметра въ секунду. Поэтому отнюдь не слѣдуетъ думать, что при прохожденіи тока каждый іонъ дѣйствительно проходитъ все пространство отъ одного электрода до другого. Скорѣе нужно представлять дѣло такъ, какъ это вытекаетъ изъ схемы Гроттуса, т. е. что іонъ, оттолкнувшійся отъ одного электрода, сообщитъ свой толчекъ (и притомъ не непосредственно, а дѣйствуя на разстояніи) ближайшему къ нему одноименному по знаку іону, этотъ—слѣдующему и т. д., и на другомъ электродѣ выдѣлится уже непосредственно къ нему прилежащій.

Такимъ образомъ теорія диссоціаціи Арреніуса даетъ возможность весьма наглядно и точно представить себѣ весь процессъ электролиза. Для насъ еще болѣе важно примѣненіе этой теоріи для уясненія тѣхъ процессовъ, которые происходятъ въ самомъ гальваническомъ элементѣ, доставляющемъ токъ. Съ точки зрѣнія теоріи Арреніуса все явленіе представляется очень просто и наглядно. Возьмемъ болѣе простой гальванический элементъ Вольта: Zn — подкисленная вода — Cu. При прохожденіи тока цинковый электродъ будетъ растворяться, а на мѣдномъ выдѣляться въ свободномъ видѣ водородъ. Все явленіе объясняется такимъ образомъ: часть цинка, растворяясь въ кислотѣ, переходитъ въ жидкость въ видѣ положительныхъ іоновъ, которые уносятъ съ цинковаго электрода часть его положительнаго заряда, и дѣлаютъ его, такимъ образомъ, отрицательнымъ; положительные іоны $\overset{+}{Zn}$, скопившись около цинковаго электрода, начнутъ притягивать находящіеся въ растворѣ отрицательные іоны SO_4 и отталкивать положительные $\overset{+}{H}$ къ противоположному электроду—къ мѣди; выдѣляясь на послѣднемъ, іоны водорода будутъ отдавать ему свой положительный зарядъ и сдѣлаютъ его положительнымъ. Въ результатѣ получится электрическій токъ, идущій къ жидкости отъ цинка къ мѣди, а во внѣшней цѣпи—отъ мѣди къ цинку. Такъ будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока израсходуется весь цинкъ.

Электродвигательная сила элемента Вольта колеблется около 1 вольта, тогда какъ, если мѣдь замѣнить платиной (эл. Грова), или коксомъ (эл. Поггендорфа), то электромоторная сила получится вдвое больше. Объясняется это тѣмъ, что въ элементѣ Вольта не только цинкъ, но и мѣдь растворяется въ водѣ; слѣдовательно, получается обратная реакція, и токъ, идущій въ противоположномъ направленіи. Но такъ какъ реакція при растореніи цинка совершается съ большей энергіей, то она и беретъ перевѣсъ, хотя получающаяся электродвигательная сила отъ этого, конечно, ослабляется; въ двухъ послѣднихъ элементахъ положительный электродъ не растворяется къ водѣ, и токъ отъ цинка развивается безпрепятственно. Подобнымъ же образомъ происходитъ дѣло и въ другихъ гальваническихъ элементахъ, въ составъ которыхъ входятъ металлы и жидкости. Вездѣ процессъ состоитъ въ томъ, что положительные іоны, переходя съ одного электрода въ жидкость, дѣлаютъ его отрицательнымъ, и, выдѣляясь на другомъ, отдаютъ ему свой положительный зарядъ.

Но можно устроить цѣлый рядъ гальваническихъ элементовъ, въ которые вовсе не входятъ металлы, — или входятъ только въ качествѣ простыхъ проводниковъ.

Въ самомъ дѣлѣ, очевидно, что для полученія тока, по теоріи Арреніуса, достаточно, чтобы въ какомъ-нибудь мѣстѣ жидкости произошло тѣмъ или инымъ путемъ накопленіе іоновъ. Отталкиваясь другъ отъ друга, и перенося такимъ образомъ съ собой электричество, они дадутъ начало току, притомъ, если скопившіеся такимъ образомъ іоны положительны, то направленіе тока будетъ совпадать съ направленіемъ движенія іоновъ, если же отрицательны, то будетъ обратно, такъ какъ токъ считается идущимъ по тому направленію, по которому движется положительное электричество, — отрицательное же всегда идетъ въ обратную сторону.

Такой элементъ можно устроить, напримѣръ, изъ двухъ неодинаково концентрированныхъ ртутныхъ амальгамъ какого-нибудь металла, напримѣръ натрія. Приготовляютъ двѣ амальгамы такъ, чтобы одна содержала больше натрія, чѣмъ другая, и помѣщаютъ ихъ въ растворѣ какой-нибудь соли того же металла, напримѣръ NaCl, такъ чтобы онѣ не прикасались въ жидкости одна съ другой. Послѣ этого объ амальгамы, посредствомъ платиновыхъ электродовъ, соединяютъ съ гальванометромъ. Получается токъ, идущій въ жидкости отъ болѣе концентрированной амальгамы къ менѣе концентрированной (въ гальванометрѣ—обратно). Процессъ состоитъ въ томъ, что положительные іоны $\overset{+}{Na}$, скопляясь въ растворѣ около болѣе концентрированной амальгамы, начнутъ отталкивать свободные іоны $\overset{+}{Na}$, находящіеся въ жидкости, и заставятъ ихъ выдѣляться на менѣе концентрированной амальгамѣ, которая такимъ образомъ получитъ положительный зарядъ, а болѣе концентрированная, отдавая вмѣстѣ съ перешедшими въ растворъ іонами часть положительнаго своего заряда, сдѣлается отрицательной. Такимъ образомъ, ртуть здѣсь служитъ только въ качествѣ собирающаго электрода или проводника, не принимая никакого иного участія въ процессѣ. Такъ будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока концентрація обѣихъ амальгамъ сдѣлается одинаковой.

Такіе токи, происходящіе вслѣдствіе неодинаковой концентраціи іоновъ около отводящихъ токъ электродовъ, называются концентраціонными. Къ нимъ тѣсно примыкаютъ токи, которые происходятъ при диффузіи растворовъ электролитовъ неодинаковой концентраціи. Такіе диффузіонные токи могутъ получаться только при диффузіи электролитовъ; диффузія не электролитовъ, напримѣръ, сахара, гликогена и т. п., не можетъ дать начала электрическому току, такъ какъ при этомъ въ растворѣ нѣтъ іоновъ, которые одни только и способны переносить электричество. Существованіе диффузіонныхъ токовъ извѣстно уже давно, но интимная природа ихъ оставалась до самаго послѣдняго времени совершенно темною. И только благодаря теоріи свободныхъ іоновъ Аррениуса

удается легко разобраться въ запутанной области этихъ токовъ.

Если мы возьмемъ сосудъ, раздѣленный пористой перегородкой на двѣ половины, и нальемъ въ каждую половину два неодинаковой концентраціи раствора какой-нибудь соли, то, какъ извѣстно, растворенная соль будетъ диффундировать изъ болѣе концентрированнаго раствора въ менѣе концентрированный до тѣхъ поръ, пока концентрація обоихъ не сравняется. Если теперь погрузимъ въ каждую половину сосуда по платиновому электроду и соединимъ ихъ съ гальванометромъ, то увидимъ, что черезъ гальванометръ пойдетъ токъ, направленіе и сила котораго для различныхъ электролитовъ неодинаковы. Если, напримѣръ, брать растворы соляной кислоты, то электрическій токъ идетъ въ жидкости по направленію диффузіи, т. е. отъ болѣе концентрированнаго раствора къ менѣе концентрированному, а во внѣшней цѣпи, слѣдовательно, отъ менѣе концентрированнаго къ болѣе; если взять два раствора хлористаго натрія, то направленіе электрическаго тока будетъ обратно направленію диффузіи, т. е. въ жидкости—отъ менѣе концентрированнаго раствора къ болѣе концентрированному (въ цѣпи обратно); если, наконецъ, взять растворы хлористаго калія, то тока совсѣмъ не получится.

Съ точки зрѣнія теоріи Аррениуса все это объясняется очень просто. Дѣло въ томъ, что при диффузіи хлористоводородной кислоты (HCl) положительный іонъ $\overset{+}{H}$, двигаясь скорѣе отрицательнаго $\overline{Cl}$, будетъ постоянно опережать его, и такимъ образомъ въ единицу времени отъ болѣе концентрированнаго раствора къ менѣе концентрированному будетъ перенесено больше положительнаго электричества, чѣмъ отрицательнаго, и послѣдній пріобрѣтетъ черезъ это нѣкоторый положительный зарядъ, а болѣе концентрированный, въ которомъ останется больше отрицательныхъ іоновъ $\overline{Cl}$, зарядится отрицательно. Поэтому токъ въ цѣпи пойдетъ отъ менѣе концентрированнаго—положительнаго къ болѣе концентрированному — отрицательному раствору (въ жидкости направленіе тока обратное) [1]. При диф-

[1] Избытокъ положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ, появляющійся въ томъ и другомъ растворѣ въ случаѣ неодинаковой скорости ихъ диффузіи, и бу-

фузіи хлористаго натрія произойдетъ какъ разъ обратное. Отрицательный $\overset{-}{Cl}$ двигается скорѣе, чѣмъ положительный $\overset{+}{Na}$, поэтому въ менѣе концентрированный растворъ будетъ переходить больше отрицательнаго электричества, чѣмъ положительнаго,—онъ сдѣлается такимъ образомъ отрицательнымъ по отношенію къ болѣе концентрированному, и токъ въ цѣпи пойдетъ отъ послѣдняго къ первому. При диффузіи же хлористаго калія тока совсѣмъ не получится, потому что $\overset{+}{K}$ и $\overset{-}{Cl}$ движутся съ одинаковой скоростью, и изъ одного раствора въ другой будетъ переходить столько же положительнаго, сколько и отрицательнаго электричества.

Только что разсмотрѣнный видъ концентраціонныхъ токовъ, гдѣ электрическая энергія получается вслѣдствіе диффузіи электролитовъ, растворенныхъ въ жидкости, имѣетъ особое названіе жидкостныхъ цѣпей (Flüssigkeitsketten Нернста); послѣднія имѣютъ для насъ особо важное значеніе, такъ какъ всѣ токи, наблюдаемые на живыхъ тканяхъ, происходятъ именно вслѣдствіе диффузіи растворенныхъ въ плазмѣ электролитовъ, концентрація которыхъ въ разныхъ мѣстахъ постоянно мѣняется въ зависимости отъ тѣхъ или иныхъ условій дѣятельности и состоянія живыхъ тканей.

Теперь намъ необходимо остановиться нѣсколько на вопросѣ о величинѣ электродвигательной силы диффузіонныхъ

детъ выдѣляться во все время прохожденія тока на электродахъ, погруженныхъ въ эти растворы, причемъ на положительномъ (т. е. погруженномъ въ менѣе концентрированный растворъ) будетъ выдѣляться водородъ, а на отрицательномъ—хлоръ. Нужно имѣть въ виду, что если диффузія двухъ растворовъ совершается прямо, безъ погруженія въ жидкость электродовъ и замыканія тока, то избытокъ положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ въ двухъ половинахъ сосуда будетъ слишкомъ малъ, чтобы его можно было уловить какими нибудь иными способами, кромѣ электрометрическихъ. Дѣло въ томъ, что какъ только положительные іоны (H+) начнутъ скопляться въ менѣе концентрированномъ растворѣ, они будутъ отталкивать одноименные имъ положительные (H+) и притягивать отрицательные (Cl), благодаря чему наполненіе одноименныхъ іоновъ не можетъ достигнуть сколько нибудь значительной величины. Этого можно достигнуть только замыкая токъ и заставляя такимъ образомъ іоны отдавать имъ заряды электродамъ, на которыхъ они будутъ послѣ этого выдѣляться въ видѣ газообразнаго водорода и хлора.

токовъ и способахъ ея вычисленія, такъ какъ электромоторная сила почти единственный компонентъ электрическаго тока, который допускаетъ вполнѣ точное измѣреніе при электрофизіологическихъ опытахъ, и можетъ дать, слѣдовательно, наиболѣе цѣнныя данныя для теоріи вопроса.

При вычисленіи электродвигательной силы всѣхъ источниковъ гальваническаго тока вообще, физика исходитъ изъ того положенія, что электрическая энергія, развиваемая элементомъ, получается на счетъ химической энергіи, освобождаемой вслѣдствіе тѣхъ измѣненій, которыя происходятъ при этомъ въ самомъ элементѣ (законъ Томсона). Зная, какіе химическіе процессы совершаются въ гальваническомъ элементѣ, и сколько энергіи развивается при каждомъ изъ нихъ, остается только выразить эту энергію въ электрометрическихъ единицахъ, чтобы имѣть всѣ данныя, по которымъ можно вычислить и электродвигательную силу.

Электромоторная сила диффузіонныхъ токовъ вообще незначительна, такъ какъ единственнымъ ея источникомъ является та энергія, которая можетъ освободиться при диффузіи вещества изъ болѣе концентрированнаго раствора въ менѣе концентрированный, и которая вообще не велика. Извѣстно, что при расширеніи сжатаго газа освобождается извѣстное количество энергіи, которое можетъ быть затрачено, напримѣръ, на поднятіе сжимавшаго газъ поршня и т. п. [1]). Такъ какъ по закону Вантъ-Гоффа частицы растворенныхъ въ жидкости веществъ относятся совершенно аналогично частицамъ газа, то при диффузіи растворенныхъ веществъ изъ болѣе концентрированнаго раствора въ менѣе концентрированный тоже должна освобождаться энергія, ибо при этомъ частицы переходятъ отъ болѣе сгущеннаго состоянія къ болѣе разрѣженному. Если растворенное вещество электролитъ, то

---

[1]) Эта энергія получается на счетъ теплоты самаго газа, который при расширеніи охлаждается. Охладившійся газъ сейчасъ же пополняетъ свою убыль, заимствуя тепло изъ окружающаго пространства. Такимъ образомъ выходитъ, что газы при своемъ расширеніи являются только преобразователями тепловой энергіи, которую они отнимаютъ у окружающей среды, въ механическую.

эта энергія и можетъ быть получена въ формѣ электрическаго тока, если соединить оба раствора, между которыми совершается диффузія, проводящей дугой [1]).

Въ термонаминѣ доказывается, что если какой бы то ни было газъ, находящійся подъ давленіемъ p, расширяется такъ, что его давленіе падаетъ до p_1, то каждая граммо-молекула его можетъ произвесть работу:

$$A = RT \log nat \frac{p}{p_1},$$

гдѣ T есть абсолютная температура, при которой происходитъ процессъ, и R нѣкоторая постоянная, равная 84700 граммо-сантиметрамъ, 1,96 калоріямъ, или 8,32 джулямъ, смотря по тому, хотимъ ли мы выразить работу въ механическихъ единицахъ, тепловыхъ или электрическихъ. Такая же работа должна освобождаться и при переходѣ 1 граммо-молекулы какого-нибудь вещества изъ болѣе концентрированнаго раствора въ менѣе концентрированный, причемъ p и p_1 будутъ выражать степень концентраціи, resp. осмотическія давленія того и другого раствора.

Не трудно примѣнить предыдущую формулу къ вычисленію электромоторной силы концентраціонныхъ токовъ. Возьмемъ

[1]) Если диффузія совершается просто, безъ отведенія электрическаго тока, то освобожденная отъ расширенія энергія должна была бы выдѣлиться въ видѣ тепла. Но, какъ упомянуто выше, энергія, освобождающаяся при расширеніи газовъ (или растворенныхъ частицъ), получается на счетъ ихъ охлажденія. Поэтому сколько тепла выдѣлятъ частицы при своемъ расширеніи въ окружающую жидкость раствора, столько же и отнимутъ изъ нея обратно для своего собственнаго нагрѣванія, и прибыль тепла въ растворѣ будетъ такимъ образомъ равна 0. Отсюда слѣдуетъ, что при отведеніи диффузіоннаго тока, когда освобожденная при расширеніи частицъ энергія уносится изъ раствора въ формѣ электрическаго тока, а охладившіяся, всѣдствіе расширенія, частицы пополняютъ свою убыль, заимствуя тепло изъ окружающей жидкости, растворъ долженъ охлаждаться (если при этомъ, не выдѣляется тепла внутри самаго элемента, всѣдствіе происходящихъ такъ вторичныхъ химическихъ процессовъ). Такимъ образомъ энергія диффузіоннаго электрическаго тока получается на счетъ охлажденія диффундирующихъ растворовъ. Диффундирующія частицы служатъ только преобразователями тепловой энергіи, которую онѣ отнимаютъ у раствора (resp. у окружающей среды), въ электрическую энергію тока.

простѣйшій случай—элементъ, составленный изъ двухъ неодинаковой концентраціи амальгамъ какого-нибудь n-атомнаго металла. Положимъ при этомъ, что концентрація, или *осмотическое давленіе*, болѣе концентрированной амальгамы равно p, а менѣе концентрированной p_1. Предположимъ, что мы замкнули токъ и дали пройти черезъ цѣпь C кулонамъ электричества. Если электромоторная сила тока при этомъ равна E, то вся работа тока (A) выразится произведеніемъ количества прошедшаго черезъ цѣпь электричества на электромоторную силу:

$$A = EC.$$

Пусть при этомъ отъ болѣе концентрированной амальгамы перешла къ менѣе концентрированной 1 граммо-молекула растворяннаго въ ртути металла. Такъ какъ концентраціи первой и второй амальгами равны p и p_1, то совершенная при этомъ работа выразится:

$$A = RT \log nat \frac{p}{p_1},$$

причемъ R должно быть выражено въ джуляхъ, такъ какъ дѣло идетъ о работѣ, совершаемой электрическимъ токомъ.

Отсюда имѣемъ: $A = EC = RT \log nat \frac{p}{p_1}$,

или: $EC = RT \log nat \frac{p}{p_1}$,

а слѣдовательно: $E = \frac{RT}{C} \log nat \frac{p}{p_1}$.

Переходя отъ натуральныхъ логариѳмовъ къ обыкновеннымъ посредствомъ умноженія на модуль M = 2,3026, получимъ:

$$E = \frac{RTM}{C} \log \frac{p}{p_1} \text{ Volt.} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Такъ какъ 1 грамме-молекула n-атомнаго металла всегда переноситъ одно и тоже количество электричества, равное 96600n кулонамъ, то слѣдовательно:

$$C = 96600n \text{ кулонамъ.}$$

Откуда:

$$E = \frac{RTM}{96600} \log \frac{p}{p_1} \text{ Volt.}$$

Подставляя вмѣсто R выраженіе его въ джуляхъ, $R = 8{,}32$, и умножая на модуль 2,3026, найдемъ:

$$E = \frac{8{,}32 \cdot 2{,}3026\, T}{96600n} \log \frac{p}{p_1} = \frac{T}{5042n} \log \frac{p}{p_1} V.$$

Или, если измѣреніе производится при обыкновенной комнатной температурѣ 18°, то $T = 273 + 18 = 291°$, а

$$E = \frac{0{,}0577}{n} \log \frac{p}{p_1} V. \ldots\ldots (2)$$

Если, напр., возьмемъ двѣ амальгамы цинка, изъ которыхъ одна содержитъ въ 10 разъ больше цинка, чѣмъ другая, то будемъ имѣть, производя опытъ при обыкновенной комнатной температурѣ: $p/p_1 = 10$, $n = 2$. Откуда:

$$E = \frac{0{,}0577}{2} \log 10 = 0{,}0288 \cdot 1 = 0{,}0288 \text{ вольта.}$$

Непосредственное измѣреніе электромоторной силы такой цѣпи опытнымъ путемъ подтверждаетъ правильность теоретически вычисленной величины.

Болѣе труднымъ представляется вычислить электромоторную силу концентраціонныхъ токовъ, происходящихъ при диффузіи водныхъ растворовъ электролитовъ (жидкостныя цѣпи Нернста—Flüssigkeitsketten), такъ какъ при этомъ приходится имѣть дѣло въ одно и то же время съ положительными и отрицательными іонами. Мы уже видѣли, что электромоторная сила

такихъ токовъ зависитъ отъ относительной скорости движенія положительнаго и отрицательнаго іона. Не вдаваясь въ излишнія подробности, здѣсь достаточно сказать, что электрическая работа, производимая токомъ, происходящимъ при диффузіи какого-нибудь электролита, доставляющаго и положительные, и отрицательные іоны, выразится разностью работъ, производимыхъ положительными и отрицательными іонами, причемъ работа, совершенная тѣми и другими, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше ихъ перешло изъ одного раствора въ другой, т. е. чѣмъ скорѣе они движутся.

Если, напримѣръ, имѣемъ какой-нибудь бинарный электролитъ (т. е. распадающійся при диссоціаціи на 2 іона, напр. $H\overset{+}{Cl} = \overset{+}{H} + \overset{-}{Cl}$), положительный и отрицательный іоны котораго обладаютъ скоростями u и v, и если въ извѣстный промежутокъ времени оба эти іоны произвели электрическимъ путемъ работу, равную въ общей сложности (т. е. положительная и отрицательная вмѣстѣ) W, то на долю положительныхъ іоновъ, очевидно, придется $\frac{u}{u+v} W$, а на долю отрицательныхъ $\frac{v}{u+v} W$ единицъ работы. Пользуясь этими и нѣкоторыми другими соображеніями, можно доказать, что если при электрической диффузіи, совершающейся въ двухъ неодинаково концентрированныхъ растворахъ какого-нибудь электролита, дающаго іоны только двухъ родовъ, напр. $SO_4H_2 = \overset{=}{SO_4} + 2\overset{+}{H}$, черезъ растворъ проходитъ количество электричества, равное $C = 96600$ кулонамъ, то при этомъ положительные іоны совершаютъ работу:

$$A = \frac{u/n}{u+v} RT \log \text{nat} \frac{p}{p_1},$$

а отрицательные произведутъ въ то же время работу:

$$A_1 = \frac{v/n_1}{u+v} RT \log \text{nat} \frac{p}{p_1},$$

гдѣ u и v — скорости положительнаго и отрицательнаго іоновъ, n и n_1 — ихъ атомность, а p и p_1 — осмотическія давленія растворовъ.

Отсюда имѣемъ:

$$A-A_1 = \frac{u/n}{u+v} RT \log nat \frac{p}{p_1} - \frac{v/n_1}{u+v} RT \log nat \frac{p}{p_1} =$$

$$= \frac{u/n - v/n_1}{u+v} RT \log nat \frac{p}{p_1},$$

а такъ какъ A—A$_1$ равно происшедшей при этомъ электрической работѣ EC, то слѣдовательно:

$$EC = \frac{u/n - v/n_1}{u+v} RT \log nat \frac{p}{p_1}, \text{ или}$$

$$E = \frac{u/n - v/n_1}{u+v} \frac{RT}{C} \log nat \frac{p}{p_1} Volt.$$

Подставляя вмѣсто R и C ихъ величины и переходя къ обыкновеннымъ логариомамъ, находимъ:

$$E = \frac{u/n - v/n_1}{u+v} \frac{T}{5042} \log \frac{p}{p_1} V; \ldots\ldots\ldots (3)$$

или, при обычной комнатной температурѣ T = 291,

$$E = \frac{u/n - v/n_1}{u+v} \cdot 0{,}0577 \log \frac{p}{p_1} V \ldots (4)$$

Если, напримѣръ, диффузія происходитъ между двумя растворами сѣрной кислоты ($SO_4H_2 = \overset{++}{SO_4} + \overset{+}{H}\overset{+}{H}$), концентраціи которыхъ 0,1^0/$_0$ и 0,01^0/$_0$, то u = 290, v = 60, p = 0,1, p_1 = 0,01, n = 1, n_1 = 2, откуда:

$$E = \frac{290/1 - 63/2}{290+63} \cdot 0{,}0577 \log 10 = 0{,}0423 \cdot 1 = 0{,}042 \text{ вольта.}$$

Нужно имѣть въ виду, что если брать болѣе концентрированные растворы, которые не вполнѣ диссоціированы, то необходимо знать предварительно, какая именно часть растворенная вещества находится въ диссоціированномъ состояніи, и только эту часть принимать во вниманіе при опредѣленіи отношенія p/p_1, такъ какъ остальная, недиссоціированная часть не принимаетъ никакого участія въ возбужденіи и проведеніи электрическаго тока.

Въ томъ случаѣ, когда электрическій токъ имѣетъ направленіе не въ ту сторону, куда совершается диффузія, для E получится отрицательная величина; напримѣръ, если въ предыдущемъ случаѣ, вмѣсто сѣрной кислоты взять хлористый натрій, то будемъ имѣть: u=41, v = 60, n = 1, n_1 = 1, откуда найдемъ для электромоторной силы:

$$E = \frac{41-62}{41+62} \cdot 0{,}0577 \log 10 = -0{,}0119 \text{ вольта.}$$

Для раствора же хлористаго калія, оба іона котораго движутся почти съ одинаковой скоростью, найдемъ электродвигательную силу:

$$E = \frac{60-62}{60+62} \cdot 0{,}0577 \log 10 = -0{,}001 V.,$$

т. е. при диффузіи долженъ получиться весьма слабый токъ, тоже въ противоположномъ ей направленіи.

Такимъ образомъ электродвигательная сила тока, получающагося при диффузіи неодинаково концентрированныхъ растворовъ какого-нибудь электролита, дающаго іоны только двухъ родовъ, можетъ быть вычислена, если извѣстны относительныя скорости іоновъ, его составляющихъ, по вышеприведенной формулѣ, принадлежащей Нернсту [1]). Планкъ [2]) обобщилъ эту формулу для случая, когда въ растворѣ находится нѣсколько электролитовъ, дающихъ какіе угодно іоны. Электромоторная сила концентраціоннаго тока выразится при этомъ такъ [3]):

$$E = \frac{RT/C}{mpu + m'p'u' + \ldots + nrv + n'r'v' + \ldots} \left[pu \log nat \frac{p}{p_1} + \right.$$

$$\left. + p'u' \log nat \frac{p'}{p'_1} + \ldots - rv \log nat \frac{r}{r_1} - r'v' \log nat \frac{r'}{r'_1} - \ldots \right] V.,$$

[1]) Zeitsch. physik. Chemie. Bd. 4, SS. 129—161.

[2]) Wied. Ann. Bd 39, SS. 161—186 и Bd. 44, SS. 385—428.

[3]) Эта формула, которой здѣсь придано нѣсколько иной видъ, сообразно прежнимъ нашимъ обозначеніямъ, годна только для такихъ случаевъ, когда оба раствора содержатъ одни и тѣ же іоны, хотя и въ различныхъ концентраціяхъ; для растворовъ, содержащихъ различные іоны, Планкомъ выведена гораздо болѣе сложная формула (W. A. Bd. 40, SS. 561—576).

гдѣ $m, m' \ldots$ и $n, n' \ldots$ атомности положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ, $p, p' \ldots$ и $r, r' \ldots$ ихъ осмотическія давленія въ болѣе концентрированномъ растворѣ, а $p_1, p_1' \ldots$ и $r_1, r_1' \ldots$ въ менѣе концентрированномъ.

Изъ этой формулы вытекаютъ, между прочимъ, два весьма важныхъ для насъ слѣдствія. Во первыхъ, что *замѣна части іоновъ какого-нибудь рода другими, обладающими одинаковою съ первыми скоростью и атомностью, не должна оказывать никакого вліянія на величину электромоторной силы E*, лишь бы только въ обоихъ растворахъ была замѣнена одна и та же часть іоновъ; такъ напр., если замѣнить $\frac{1}{3}$ іоновъ p и p_1 другими, одинаковой съ ними атомности m и скорости u, то въ скобкахъ придется ввести вмѣсто величины up log nat $\frac{p}{p_1}$ тожественную ей величину

$$\frac{2}{3}\,up\,\log\,nat\,\frac{2/3\,p}{2/3\,p_1}+\frac{1}{3}\,up\,\log\,nat\,\frac{1/3\,p}{1/3\,p_1}=up\,\log\,nat\,\frac{p}{p_1},$$

а въ знаменателѣ заскобочной дроби вставить вмѣсто mpu, равную ей $\frac{2}{3}\,mpu+\frac{1}{3}\,mpu$; если при этомъ атомность новыхъ іоновъ иная, то это обстоятельство, очевидно, будетъ оказывать тѣмъ большее вліяніе на величину заскобочнаго коеффиціента, чѣмъ больше величины p и u, т. е. чѣмъ больше количество и скорость замѣняемыхъ іоновъ. Во-вторыхъ, что въ томъ случаѣ, *когда въ растворѣ находятся іоны нѣсколькихъ родовъ, электродвигательная сила могущаго появиться при этомъ концентраціончаго тока будетъ зависѣть не только отъ тѣхъ іоновъ, концентраціи которыхъ въ томъ и другомъ растворѣ различны, но и отъ тѣхъ, которые равномѣрно распредѣлены въ обоихъ растворахъ.* Въ самомъ дѣлѣ, если допустить, что, напримѣръ, $p=p_1$, то отношеніе $\frac{p}{p_1}$ дѣлается при этомъ равнымъ 1, а логариномъ его 0; слѣдовательно, соотвѣтствующая величина въ скобкахъ исчезаетъ, но въ знаменателѣ стоящей передъ скобками дроби p остается, и очевидно, что если величина p значительна по сравненію съ p', p'' и т. д., т. е. если концентрація равномѣрно распредѣленныхъ іоновъ значительна по сравненію съ іонами,

концентрація которыхъ въ томъ и другомъ растворѣ различна, то вліяніе ея на величину E тоже можетъ быть болѣе или менѣе значительно.

Слѣдуетъ еще замѣтить, что *величина E вообще не зависитъ отъ того, рѣзко ли отграничены диффундирующіе растворы одинъ отъ другого (напр. посредствомъ перегородки изъ слабо-обожженной глины и т. п.), или-же незамѣтно смѣшиваются другъ съ другомъ, такъ какъ величина E въ концѣ концовъ зависитъ только отъ концентраціи растворовъ въ области того или другого отводящаго электрода, причемъ совершенно безразлично сколько бы разъ ни мѣнялась концентрація въ промежуткѣ между ними.*

Если, напримѣръ, предоставить себѣ рядъ соприкасающихся растворовъ одного и того же электролита, концентраціи которыхъ (resp. осмот. давл.) будутъ $p_0, p_1, p_2, \ldots p_n$, то легко видѣть, что электродвигательная сила, которая при отведеніи отъ крайнихъ растворовъ должна быть равна суммѣ всѣхъ промежуточныхъ паденій потенціала, выразится такъ:

$$E=\frac{RT}{C}\log\,nat\,\frac{p_0}{p_1}+\frac{RT}{C}\log\,nat\,\frac{p_1}{p_2}+\ldots+\frac{RT}{C}\log\,nat\,\frac{p_{n-1}}{p_n}=$$
$$=\frac{RT}{C}(\log nat\,\frac{p_0}{p_1}+\log\,nat\,\frac{p_1}{p_2}+\log\,nat\,\frac{p_2}{p_3}+\ldots+\log\,nat\,\frac{p_{n-1}}{p_n})=$$
$$=\frac{RT}{C}(\log\,nat\,p_0-\log\,nat\,p_1+\log\,nat\,p_1-\log\,nat\,p_2+$$
$$+\log\,nat\,p_2-\log\,nat\,p_3+\ldots.-\log\,nat\,p_n)=$$
$$=\frac{RT}{C}(\log\,nat\,p_0-\log\,nat\,p_0).=\frac{RT}{C}\log\,nat\,\frac{p_0}{p_n}.$$

Такимъ образомъ электродвигательная сила будетъ такая же, какъ если-бы соприкасались только два крайніе раствора p_0 и p_n, концентраціи же остальныхъ растворовъ: $p_1, p_2, p_3 \ldots p_{n-1}$ не оказываютъ на нее никакого вліянія, причемъ концентрація нѣкоторыхъ, или даже всѣхъ ихъ, можетъ и превосходить концентрацію крайнихъ p_0 и p_n.

Въ заключеніе этой главы необходимо сказать еще нѣсколько словъ о томъ, чѣмъ опредѣляется степень диссоціаціи, т. е. число распавшихся на іоны молекулъ въ растворахъ различныхъ электролитовъ, ибо отъ нихъ именно и зависитъ

электродвигательная сила могущаго возникнуть при этомъ диффузіоннаго тока, недиссоціировавшая же часть никакого участія въ развитіи и проведеніи электрическаго тока не принимаетъ.

Что касается до сильно диссоціированныхъ электролитовъ, къ числу которыхъ принадлежатъ, между прочимъ, всѣ соли щелочныхъ металловъ, аммонія и серебра съ одноосновными кислотами, напр. соляной,—то степень диссоціаціи ихъ приблизительно одинакова, и въ такихъ слабыхъ растворахъ, въ какихъ соли эти содержатся въ жидкостяхъ живыхъ тканей (0,50—0,85% или около 0,1 норм.), она достигаетъ 85%. Такъ какъ при этомъ главная масса молекулъ находится уже въ распавшемся состояніи, то при вычисленіи электромоторной силы тока при такихъ концентраціяхъ, безъ большой ошибки, можно совсѣмъ не принимать въ разсчетъ эту недиссоціированную еще часть, и прямо считать, что количество свободныхъ іоновъ, находящихся въ растворѣ, пропорціонально общему количеству растворенняго вещества. Происходящая черезъ это ошибка въ значительной степени ослабляется тѣмъ обстоятельствомъ, что въ формулѣ для вычисленія тока приходится имѣть дѣло не съ самымъ отношеніемъ этихъ величинъ, а съ его логариѳмомъ, на который приходится умножать нѣкоторую величину, постоянную для всякаго даннаго электролита; такъ напр., въ случаѣ диффузіи $^1/_{10}$ норм. и $^1/_{100}$ норм. растворовъ хлористаго натрія, вмѣсто $\log 10$ пришлось бы взять $\log \frac{0{,}1.86}{0{,}01.94}$ (86 и 94 выражаютъ процентъ диссоціированныхъ молекулъ въ томъ и другомъ растворѣ, см. ниже), т. е. 0,915 вмѣсто 1, черезъ что въ конечномъ результатѣ получилась бы величина на 8,5% ниже, чѣмъ при допущеніи полной диссоціаціи.

Для электролитовъ, болѣе слабо диссоціированныхъ, такого упрощенія дѣлать нельзя, такъ какъ степень диссоціаціи ихъ быстро увеличивается съ уменьшеніемъ концентраціи раствора, притомъ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ слабѣе ихъ диссоціація.

Не вдаваясь въ излишнія подробности по этому предмету, намъ здѣсь достаточно замѣтить, что зная извѣстныя, характерныя для каждаго вещества, постоянныя, можно теоретическимъ путемъ вычислить степень диссоціаціи для всякой концентраціи раствора. При этомъ оказывается, что степень или процентъ диссоціировавшихъ молекулъ въ растворахъ слабыхъ бинарныхъ (т. е. дающихъ при диссоціаціи только два іона) электролитовъ измѣняется обратно пропорціонально корню квадратному изъ концентраціи раствора [1]), такъ напр., нормальный (6%) растворъ уксусной кислоты содержитъ только 0,4% диссоціированныхъ молекулъ, тогда какъ $^1/_{10}$ норм. $0{,}4\sqrt{10} = 1{,}2\%$, а $^1/_{100}$ норм. $1{,}2\ \sqrt{10} = 4\%$. Такимъ образомъ, отношеніе между осмотическими давленіями свободныхъ іоновъ въ нормальномъ и децинормальномъ растворахъ выразится въ этомъ случаѣ не цифрою 10, какъ въ растворѣ вполнѣ диссоціированная, а $\sqrt{10} = 3{,}2$, и если этого обстоятельства не принять во вниманіе при вычисленіи электродвигательной силы тока, долженствующаго появиться при диффузіи этихъ растворовъ, то происходящая отсюда ошибка составитъ уже 50% всей величины E.

Однако и при слабыхъ электролитахъ возможны такія положенія, когда количество свободныхъ іоновъ будетъ измѣняться пропорціонально количеству всего находящагося въ растворѣ электролита. Такое именно положеніе будетъ въ

[1]) Это вытекаетъ, какъ слѣдствіе, изъ такъ называемаго закона массъ, согласно которому отношеніе произведенія количествъ продуктовъ диссоціаціи какого-либо вещества къ недиссоціированной части есть всегда нѣкоторая постоянная величина, характерная для даннаго вещества. Такимъ образомъ, если имѣемъ растворъ, содержащій p недиссоціированныхъ молекулъ какого-либо электролита, и обозначимъ черезъ p_1, p_2, p_3.... количества находящихся въ этомъ же растворѣ свободныхъ іоновъ, возникающихъ при разщепленіи частицы этого электролита, то отношеніе $\frac{p_1\,p_2\,p_3\,\ldots}{p}$ есть величина постоянная для каждаго даннаго электролита: $\frac{p_1\,p_2\,p_2}{p} = K$ (konstant), или: $p_1\,p_2\,p_3 \ldots = p\,K$.

Для бинарнаго электролита, т. е. дающаго при своемъ распаденіи только два іона, будемъ имѣть: $p_1\,p_2 = p\,K$, и такъ какъ при этомъ количество положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ, очевидно, должно быть одинаково, то $p_1 = p_2$, или $p_1^2 = p\,K$. Точно также для другого раствора, содержащаго p' недиссоціированныхъ молекулъ, получимъ $p_1'^2 = p'\,K$. Откуда, по раздѣленіи одного выраженія на другое, найдемъ: $\frac{p_1^2}{p_1'^2} = \frac{p}{p'}$, или $\frac{p_1}{p_1'} = \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{p'}}$

томъ случаѣ, когда слабо диссоціированный бинарный электролитъ находится въ растворѣ вмѣстѣ съ другимъ сильно диссоціированнымъ электролитомъ, имѣющимъ съ нимъ одинъ одинаковый ионъ, или же если этотъ второй электролитъ, хотя и не принадлежитъ къ числу сильно диссоціированныхъ, но содержится въ растворѣ въ значительномъ избыткѣ надъ первымъ,—однимъ словомъ, если въ растворѣ уже находится избытокъ ионовъ, общихъ съ однимъ изъ ионовъ, на которые распадается разсматриваемый бинарный электролитъ; тогда степень диссоціаціи перваго будетъ оставаться постоянной при измѣненіи его концентраціи въ растворѣ, т. е. будетъ диссоціированъ всегда одинъ и тотъ же процентъ всего находящагося въ растворѣ количества электролита, откуда слѣдуетъ, что число, resp. осмотическое давленіе, свободныхъ ионовъ, не *общихъ* со вторымъ электролитомъ, будетъ увеличиваться пропорціонально количеству всего электролита [1]).

Отсюда, между прочимъ, слѣдуетъ, что *если слабая кислота находится въ растворѣ вмѣстѣ съ достаточнымъ количествомъ какой-нибудь своей соли, то число свободныхъ ионовъ водорода, появляющихся при разщепленіи этой кислоты, будетъ прямо пропорціонально содержанію ея въ растворѣ* [2]); такъ, напр., будетъ, если имѣемъ дѣло съ растворомъ, содержащимъ молочную или уксусную кислоту и молочно- или уксусно-кислую соль какого-нибудь щелочного металла, напр. натрія: такъ какъ степень диссоціаціи первыхъ двухъ очень мала (1% и 0,4% въ норм. растворѣ), а послѣдняго

[1]) Это слѣдуетъ изъ вышеуказаннаго закона массъ. Въ этомъ случаѣ произведеніе количествъ свободныхъ ионовъ бинарнаго электролита выразится, очевидно, не величиной $p_1\ p_2 = p_1^2$, а величиной $(p_1+p_0)\ p_2$, гдѣ p_0 есть число общихъ ионовъ, происшедшихъ отъ диссоціаціи второго электролита, и уравненіе диссоціаціи приметъ видъ: $(p_1+p_0)\ p_2 = p$ K. А для случая, когда количество перваго электролита въ растворѣ равно p', будетъ имѣть соотвѣтственнымъ образомъ: $(p_1'+p_0)\ p_2' = p'$ K, или по раздѣленіи: $\frac{(p_1'+p_0)\,p_2}{(p_1'+p_0)\,p_2'} = \frac{p}{p'}$, но такъ какъ, согласно предположенію, величины p_1 и p_1' незначительны по сравненію съ p_0, то $p_1'+p_0$ можно считать равнымъ $p_1'+p_0$, а слѣдовательно: $\frac{p_2}{p_2'} = \frac{p}{p'}$.

[2]) Ср. W. Nernst. Theoret. Chemie. 1893. S. 406.

очень велика (75%), то достаточно небольшой примѣси соли къ раствору кислоты для того, чтобы получить избытокъ общаго іона ($C_3\,H_5\,O_2$ или $C_2\,H_3\,O_2$), и создать условія, при которыхъ осмотическое давленіе водорода будетъ пропорціонально концентраціи всей кислоты.

Слѣдуетъ еще замѣтить, что присутствіе въ растворѣ какихъ бы то ни было другихъ ионовъ, не общихъ ни съ однимъ изъ ионовъ, на которые распадается данный электролитъ, никакого прямого вліянія на степень его диссоціаціи оказывать не можетъ.

Равнымъ образомъ есть возможность вычислить степень диссоціаціи и такихъ электролитовъ, которые распадаются на три и больше ионовъ. Однако здѣсь представляется затрудненіе съ той стороны, что молекулы этихъ веществъ способны къ неполной диссоціаціи, такъ напр., отъ молекулы сѣрной кислоты SO_4H_2 можетъ отдѣлиться сначала одинъ только ионъ $\overset{+}{H}$, а остальная группа $\overline{SO_4H}$ будетъ играть роль отрицательнаго іона. Число такихъ не вполнѣ распавшихся молекулъ тѣмъ больше, чѣмъ концентрированнѣе растворъ; въ растворахъ же очень разведенныхъ почти всѣ молекулы распадутся совершенно; при этомъ обыкновенно распаденіе совершается такимъ образомъ, что сначала большинство молекулъ распадаются на двѣ части, подобно бинарному электролиту, а затѣмъ уже, при болѣе сильныхъ разведеніяхъ, отъ отрицательной группы отдѣляются послѣдующіе положительные іоны, причемъ это отдѣленіе совершается съ тѣмъ большею трудностью, чѣмъ больше ионовъ уже отдѣлилось. Въ той стадіи, когда большинство молекулъ распалось еще только на двѣ части, диссоціація подчиняется всѣмъ указаннымъ выше законамъ для бинарнаго электролита, т. е. степень ея обратно пропорціональна корню квадратному изъ концентраціи, и въ случаѣ присутствія солей, имѣющихъ общій съ ними ионъ, осмотическое давленіе другого, не общаго іона, — въ данномъ примѣрѣ, слѣдовательно, водорода, — будетъ измѣняться пропорціонально концентраціи кислоты. Диссоціація, напр., фосфорной кислоты до 70—80% совершается только

съ отщепленіемъ одного атома водорода [1]), и только при дальнѣйшихъ разведеніяхъ начинаютъ отщепляться слѣдующіе, но крайне медленно, такъ что даже при самыхъ сильныхъ разведеніяхъ, при которыхъ вообще возможны электрометрическія измѣренія, приводимость ея измѣняется такъ, какъ если бы диссоціація происходила съ отщипленіемъ одного только іона [2]).

Въ нижеслѣдующей таблицѣ сопоставлены цифры, выражающія въ процентахъ степень диссоціаціи нѣкоторыхъ электролитовъ въ растворахъ разной концентраціи, и вычисленныя мною на основаніи величинъ электропроводимости растворовъ, найденныхъ Кольраушемъ (l. c.), за исключеніемъ угольной кислоты, для которой вычисленіе произведено на основаніи электропроводности водныхъ растворовъ углекислоты по Пфейфферу [3]), а для молочной кислоты вычислены теорически на основаніи постоянной диссоціаціи (Dissociationskonstante) K=0,0138. Изъ приводимыхъ чиселъ можно, между прочимъ, убѣдиться, что диссоціація слабыхъ электролитовъ, какъ напр. уксусная и угольная кислоты, измѣняется обратно пропорціонально корнямъ квадратнымъ изъ концентраціи. По отношенію къ угольной кислотѣ это послѣднее обстоятельство служитъ также доказательствомъ того, что диссоціація совершается здѣсь тоже по типу бинарнаго электролита: $CO_3H_2 = \overline{CO_3H} + \overset{+}{H}$.

Всѣ цифры вычислены для t° 18° C. Концентраціи растворовъ угольной кислоты даны въ объемныхъ отношеніяхъ поглощеннаго водой газа, концентраціи же остальныхъ приведена въ отношеніи къ нормальному раствору, причемъ въ нижней строкѣ указаны молекулярные вѣса взятыхъ электролитовъ; зная, что нормальнымъ растворомъ называется такой, который содержитъ въ 1000 куб. с. воды 1 граммо-молекулу даннаго вещества, т. е. числа граммовъ, равное его молекулярному

[1]) Cm. W. Ostwald. Über mehrbasische Säuren. Zeitschr. physik. Chemie Bd. 9, SS. 553—562 (1892).
[2]) Cm. F. Kohlrausch. Wied. Ann. Bd. 26, SS. 161—226 (1885).
[3]) Wied. Ann. Bd. 23, SS. 625—650 (1884).

вѣсу, легко выразить степень концентраціи въ вѣсовыхъ процентахъ. Относительно электропроводимости болѣе слабыхъ растворовъ углекислоты въ водѣ (0,5—0,01 объема), у Пфейффера уже не содержится данныхъ, такъ какъ при столь слабыхъ растворахъ невозможны уже точныя электрическія измѣренія; степень диссоціаціи этихъ растворовъ (цифры напечатаны курсивомъ) вычислена мною теоретически на основаніи предшествующихъ цифръ, и при предположеніи, что и при этихъ концентраціяхъ диссоціація CO_3H_2 происходитъ по типу бинарнаго электролита.

I. Диссоціація нѣкоторыхъ солей, кислотъ и щелочей.

Концентрація по отношенію къ нормальн. раств.	Степень диссоціаціи въ процентахъ.									
	KCl	SO_4K_2	CO_3Na_2	HCl	NO_3H	SO_4H_2	$C_2H_2O_4H$	$C_3H_6O_3H$	NH_4OH	KOH
1 норм.	75	55	41	78	80	52	0,4	1,2	0,4	78
0,1 норм.	86	72	67	92	94	61	1,4	3,6	1,4	90
0,01 норм.	94	89	87	97	98	81	4,1	12	4,2	97
0,001 норм.	98	98	99	98	99	94	12	36	14	99
Молекулярные вѣса.	74	174	106	36	63	98	60	90	17	56

II. Диссоціація фосфорной кислоты $PO_4H_3 = \overline{PO_4H_2} + \overset{+}{H}$ (молек. вѣсъ 98).

Концентрація по отношенію къ нормальн. раств.	Степень диссоціаціи въ процентахъ.	Концентрація по отношенію къ нормальн. раств.	Степень диссоціаціи въ процентахъ.
1 норм.	18	0,01 норм.	72
0,5 норм.	23	0,005 норм.	78
0,1 норм.	39	0,001 норм.	88
0,05 норм.	49	0,0005 норм.	89

III. Диссоціація угольной кислоты $CO_2H_2 = \overline{CO_3H} + \overset{+}{H}$.

Объемъ поглощ. CO_2 на единицу объема воды.	Степень диссоціаціи въ процентахъ.	Объемъ поглощ. CO_2 на единицу объема воды.	Диссоціація въ процентахъ.	Объемъ поглощ. CO_2 на единицу объема воды.	Диссоціація въ процентахъ.
0,01	*2,83*	1,0	0,28	6,35	0,11
0,1	*0,94*	1,67	0,20	8,44	0,09
0,4	*0,47*	3,40	0,14	10,46	0,09
0,5	*0,40*	4,34	0,13	20,03	0.06

Глава III.

О химическомъ источникѣ электрическихъ токовъ въ живыхъ тканяхъ.

Какъ уже было упомянуто, о томъ, что причина электрическихъ феноменовъ въ живыхъ тканяхъ стоитъ въ тѣсной связи съ химической дѣятельностью живой протоплазмы, высказывалось неоднократно уже гораздо раньше Германа. Дю-Буа Реймонъ тоже предполагалъ, что по своей сущности его электродвигательныя молекулы суть не что иное, какъ очаги извѣстныхъ химическихъ процессовъ внутри живого вещества. (Ich habe mir darunter vielmehr stets auf bestimmte Weise orientirte Heerde chemischer Thätigkeit gedacht, und diese Thätigkeit für einerlei mit derjenigen gehalten, welche die Athmung des Muskels ausmacht) [1]. Но только Германъ выразилъ это положеніе въ настолько опредѣленной формѣ, что совершенно не считалъ нужнымъ допускать, для объясненія наблюдаемыхъ явленій животнаго гальваническаго тока, никакихъ другихъ вспомогательныхъ гипотезъ, вродѣ молекулъ Дю-Буа Реймона и т. п.

Однако физико-химическая теорія гальваническаго тока въ то время, когда создавалась гипотеза Германа (1867), была еще слишкомъ мало разработана, чтобы дать ему возможность примѣнить ее къ своимъ основнымъ положеніямъ не только, такъ сказать, съ количественной стороны, т. е. со стороны возможности теоретически вычислить силу электрическаго тока въ томъ или другомъ случаѣ, но даже и съ качественной стороны. Формулируя свои основныя положенія объ электри-

[1]) Gesam. Abhand. Bd. II, S. 291.

ческомъ токѣ живыхъ тканей (отрицательность дѣятельной протоплазмы по отношенію къ покойной и т. д.), онъ не указываетъ, однако, какіе именно процессы химическаго метаморфоза, происходящаго въ живомъ веществѣ, могли бы вызвать эти электрическія явленія, замѣчая только, что причина отрицательности раздражаемаго мѣста должна заключаться въ совершающемся, при этомъ, процессѣ регрессивнаго метаморфоза, связанномъ съ образованіемъ продуктовъ кислотнаго характера [1]).

Въ настоящее время, когда мы разсматриваемъ почти всѣ безъ исключенія случаи возникновенія гальваническаго тока въ жидкихъ проводникахъ, какъ результатъ совершающагося въ той или иной формѣ перехода заряженныхъ электричествомъ іоновъ изъ одного мѣста въ другое, едва-ли можетъ возникнуть сомнѣніе въ томъ, что и демаркаціонный токъ Германа, и вообще всѣ токи, наблюдаемые на живыхъ тканяхъ, суть токи диффузіонные, происходящіе вслѣдствіе неодинаковой концентраціи продуктовъ дѣятельности живой протоплазмы въ двухъ отводимыхъ въ гальванометръ мѣстахъ.

Правда, были попытки уже и до Германа,—напр., упомянутая выше попытка Ранке,—смотрѣть на эти токи исключительно какъ на диффузіонные, но, въ виду того, что въ физикѣ еще не существовало никакихъ точныхъ данныхъ объ этихъ послѣднихъ, еще менѣе можно было ожидать удачи отъ попытки примѣненія ихъ въ области физіологіи; и только теперь, когда мы обладаемъ вполнѣ точными формулами, дающими возможность, при наличности извѣстныхъ данныхъ о происходящемъ химическомъ процессѣ, прямо вычислить направленіе и силу могущаго возникнуть при этомъ электрическаго тока, такая попытка можетъ быть сдѣлана снова. При этомъ, если мы не хотимъ довольствоваться областью однихъ гипотезъ и предположеній, хотя-бы и остроумныхъ, а желали бы поставить вопросъ на чисто фактическую почву, которая хоть отчасти напоминала бы ту строгую научность, какою отличается постановка подобныхъ вопросовъ въ области физики,

[1]) Untersuchungen u. s. w. Heft 2, S. 13 ff.

то намъ слѣдуетъ и вести изслѣдованіе по такому плану, какимъ руководствовался бы въ данномъ случаѣ физикъ, а именно стараться, чтобы каждое наше положеніе подтверждалось опытомъ не только съ качественной, но и съ количественной стороны.

Затрудненіе въ настоящее время можетъ представиться только со стороны полноты нашихъ свѣдѣній о характерѣ самыхъ процессовъ химическаго метаморфоза, совершающихся въ живой ткани, которыя дали бы возможность вычислить теоретическимъ путемъ электровозбудительную силу [1]) того тока, который согласно нашимъ предположеніямъ долженъ наблюдаться въ ткани при наличности тѣхъ или другихъ условій.

Съ этой стороны наша задача распадается на двѣ части: во-первыхъ, необходимо выяснить, какія именно изъ образующихся при дѣятельности живой протоплазмы веществъ принимаютъ участіе въ электромоторной ея дѣятельности; во-вторыхъ, нужно найти способъ для опредѣленія количествъ этихъ веществъ, или, по крайней мѣрѣ, отношенія между количествами ихъ въ двухъ отводимыхъ въ гальванометръ мѣстахъ, такъ какъ только при наличности этихъ данныхъ возможно вычислить по вышеприведеннымъ формуламъ электродвигательную силу долженствующаго возникнуть при такихъ условіяхъ тока.

Въ этой главѣ мы займемся первой частью вопроса, и притомъ, пока исключительно въ отношеніи мышечной ткани, на которой явленія гальваническаго тока обнаруживаются въ наиболѣе законномѣрной формѣ.

При дѣятельности мышцы въ ней, какъ извѣстно, развивается цѣлый рядъ веществъ: углекислота, фосфорная кислота, быть можетъ молочная, мочевая, далѣе глюкоза, инозитъ, мо-

[1]) Изъ трехъ компонентовъ, входящихъ въ понятіе гальваническаго тока: электровозбудительной силы, сопротивленія и силы (плотности) тока, при электрофизіологическихъ измѣреніяхъ пользуются почти исключительно первой, въ виду крайняго непостоянства двухъ послѣднихъ. Поэтому въ физіологіи часто употребляютъ слово «сила тока» для обозначенія электровозбудительной силы, т. е. паденія потенціала вдоль проводника, а не плотности (густоты) тока, что, однако, съ физической точки зрѣнія неправильно, такъ какъ это понятія совершенно разныя.

БІБЛІОТЕКА
Харківського Медичн. Інституту
№

чевина, креатинъ, креатининъ и нѣкоторыя другія. Количественныя отношенія между этими веществами при различныхъ условіяхъ дѣятельности мышцы различны. Однако вопросъ этотъ настолько еще недостаточно изученъ, что мы были бы поставлены въ большое затрудненіе, если-бы для вычисленія предполагаемой электромоторной силы мышечнаго тока въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ необходимо было принимать во вниманіе всѣ эти вещества. Задача можетъ быть однако въ значительной степени упрощена, если принять во вниманіе то обстоятельство, что большая часть изъ нихъ (глюкоза, инозитъ, мочевина, креатинъ, карнининъ и др.) или не обладаютъ вовсе электролитическими свойствами, не распадаясь въ растворѣ на іоны [1]), и, слѣдовательно, не принимая никакого участія въ возникновеніи и проведеніи электрическаго тока, подобно напр. сахару, или же по незначительности своего количества и по слабости своихъ электролитическихъ свойствъ могутъ быть совершенно игнорированы. Устраненіе этихъ веществъ изъ области нашего разсмотрѣнія значительно упрощаетъ дѣло. Нашему разсмотрѣнію будутъ подлежать, слѣдовательно, только углекислота (сейчасъ мы увидимъ, что въ данномъ случаѣ, какъ электролитъ, углекислота CO_2 будетъ проявлять свое дѣйствіе въ формѣ водиаго раствора угольной кислоты CO_2H_2) и кислоты фосфорная и молочная (такъ какъ мочевая кислота по своему минимальному количеству тоже совсѣмъ можетъ быть оставлена безъ вниманія), причемъ послѣднія двѣ по количеству во много разъ уступаютъ первой; кромѣ того дѣйствіе фосфорной и молочной кислотъ въ отношеніи электрическаго тока вполнѣ совпадаетъ съ таковымъ угольной кислоты, вслѣдствіе приблизительно одинаковой скорости движенія іоновъ, на которые онѣ распадаются ($\overline{CO_3}$, PO_4H_2, $C_3H_5O_3$ и $\overset{+}{H}$).

Такимъ образомъ мы можемъ еще болѣе упростить нашу задачу и, безъ опасенія впасть въ большую ошибку, имѣемъ

[1]) Данныя о степени диссоціаціи нѣкоторыхъ изъ этихъ веществъ можно найти въ статьѣ Валькера: Zur Affinitätsbestimmung organischer Basen. Zeitschr. physik. Chemie. Bd. 4, SS, 319—343 (1889).

основаніе предположить, что *электрическіе токи, получаемые при отведеніи въ гальванометрѣ двухъ точекъ мышцы, находящихся въ разныхъ степеняхъ дѣятельности, зависятъ отъ неодинаковаго количества углекислоты, вырабатываемой въ двухъ отводимыхъ мѣстахъ.*

Теперь является вопросъ, въ какой формѣ будетъ проявлять углекислота въ данномъ случаѣ свое дѣйствіе въ качествѣ электролита. Этотъ вопросъ существенно важенъ потому, что сама CO_2, какъ таковая, будучи газомъ, не можетъ оказывать дѣйствія на возникновеніе и проведеніе электрическаго тока въ жидкости, не перейдя предварительно въ растворъ въ видѣ іоновъ.

Такъ какъ диссимиляціонный процессъ, при которомъ происходитъ образованіе углекислоты въ живомъ организмѣ протекаетъ все время въ водной средѣ, и такъ какъ, съ другой стороны, въ живой ткани никогда не наблюдается при жизни развитія газовъ, что неминуемо должно было бы случаться при нѣкоторыхъ условіяхъ, напр. въ вырѣзанныхъ мышцахъ, не орошаемыхъ кровью, если бы углекислота образовывалась внутри живой протоплазмы прямо, какъ таковая,—то мы имѣемъ полное основаніе предполагать, что и въ данномъ случаѣ углекислота отщепляется отъ образующихъ ее углеводныхъ или другихъ органическихъ молекулъ не въ формѣ газообразной CO_2, а въ гидратной своей формѣ, т. е. въ формѣ настоящей двуосновной угольной кислоты CO_3H_2 [1]), и если бы

[1]) Въ вышеуказанной (стр. 64) своей работѣ объ электропроводности водныхъ растворовъ CO_2, Пфейфферъ приходитъ къ заключенію, что послѣдняя содержится въ водѣ не въ формѣ угольной кислоты CO_3H_2, на томъ основаніи, что проводимость этихъ растворовъ очень мала по сравненію съ проводимостью, которую можно было бы предположить на основаніи скорости движенія іоновъ $\overline{CO_3}$ и $\overset{+}{H}$. Произошло это недоразумѣніе отъ того, что Пфейфферъ производилъ свою работу (1884 г.) еще до открытія Аррениусомъ закона диссоціаціи электролитовъ и причемъ нимъ не могъ объяснить слабой проводимости этихъ растворовъ. Напротивъ, найденныя имъ цифры для проводимости прямо указываютъ на то, что углекислота въ этомъ случаѣ находится именно въ формѣ слабо диссоціированной кислоты CO_3H_2, такъ какъ молекулярная проводимость ихъ, гевр. степень диссоціаціи увеличивается,—какъ и слѣдуетъ изъ теоріи,—обратно пропорціонально квадратному корню изъ концентраціи

электрическіе токи мышцы зависѣли исключительно отъ нея, вычисленіе ихъ электромоторной силы не представляло бы, теоретически по крайней мѣрѣ, никакихъ затрудненій. Въ самомъ дѣлѣ, растворенная въ водѣ углекислота CO_2 является уже въ формѣ настоящей двуосновной кислоты; въ случаѣ неодинаковаго скопленія появившейся такимъ образомъ угольной кислоты CO_3H_2 въ двухъ какихъ-нибудь мѣстахъ живой ткани, долженъ появиться диффузіонный токъ, подобно тому, какъ это имѣетъ мѣсто, напр., при отведеніи тока отъ двухъ неодинаковой концентраціи растворовъ сѣрной кислоты, или какого бы то ни было иного электролита. Электродвигательная сила этого тока можетъ быть легко вычислена по формулѣ (4, стр. 56) для такъ называемыхъ жидкостныхъ концентраціонныхъ цѣпей:

$$E = \frac{n/u - v/n_1}{u + v}\ 0{,}0577\ \log\ \frac{p}{p_1}$$

Для даннаго случая, гдѣ дѣло идетъ о токѣ, получающемся при диффузіи угольной кислоты, u—скорость положительнаго іона H—равна 290 (см. таблицу на стр. 45), v — скорость отрицательнаго іона CO_3—равна 62, n—атомность водорода = 1, n_1 — атомность $CO_3 = 2$. Подставляя эти числа найдемъ:

$$E = \frac{290/1 - 62/2}{290 + 62}\ 0{,}0577\ \log\ \frac{p}{p_1} = 0{,}0425\ \log\ \frac{p}{p_1} \quad \ldots \quad (\alpha)$$

Въ этихъ формулахъ p и p_1 обозначаютъ осмотическія давленія, resp. концентрацію *свободныхъ* іоновъ въ отводимыхъ мѣстахъ, то есть іоновъ, образовавшихся изъ распавшихся

(ср. таблицу на стр. 66). Такую же ошибку сдѣлалъ первоначально Кольраушъ по отношенію къ водному раствору NH_3 (Wied. Ann. Bd. 6. S. 190).

Зѣсь слѣдуетъ еще замѣтить, что, какъ нашелъ Кольраушъ (W. A. 6, S. 28), присутствіе въ частицѣ электролита кристаллизаціонной воды не оказываетъ вліянія на его свойства въ качествѣ электролита (что вполнѣ понятно, такъ какъ кристаллизаціонная вода можетъ быть связана только съ нераспавшимися, и слѣдовательно, не принимающими участія въ электролитическомъ процессѣ, молекулами,—поэтому и по отношенію къ $CO_3H_2 + 8H_2O$) обстоятельство это не можетъ играть существенной для насъ роли. Впрочемъ гидратная форма угольной кислоты ($CO_3H_2 + 8H_2O$) можетъ существовать, вѣроятно, только при высокихъ давленіяхъ, которыя не имѣютъ мѣста въ живыхъ тканяхъ (ср. Pfeiffer, l. c.).

молекулъ уже диссоціированной части находящейся въ растворѣ CO_3H_2, причемъ остающаяся часть нераспавшихся молекулъ CO_3H_2 совсѣмъ не принимается въ разсчетъ, какъ будто ея и не было вовсе.

Если допустить на время, что послѣднее обстоятельство дѣйствительно имѣетъ мѣсто по отношенію къ угольной кислотѣ, растворенной въ жидкостяхъ живой ткани, т. е. что при обыкновенныхъ условіяхъ всѣ находящіяся въ мышечной плазмѣ молекулы CO_3H_2 находятся въ распавшемся состояніи на іоны $\overset{++}{C}O_3$ и $\overset{+}{H}H$, то отсюда должно слѣдовать, что отношеніе p/p_1 количествъ свободныхъ іоновъ, находящихся въ растворѣ въ томъ и въ другомъ мѣстѣ, будетъ равно отношенію количествъ всѣхъ молекулъ CO_3H_2, или, другими словами, отношенію между количествами углекислоты, вырабатываемой въ томъ и другомъ мѣстѣ. Обозначая эти послѣднія черезъ c и c_1 будемъ имѣть: $\frac{p}{p_1} = \frac{c}{c_1}$, а слѣдовательно, предыдущая формула приметъ видъ:

$$E = 0{,}043\ \log\ \frac{p}{p_1} = 0{,}043\ \log\ \frac{c}{c_1}.$$

Такимъ образомъ, если бы мы могли опредѣлить концентрацію углекислоты въ отводимыхъ въ гальванометръ мѣстахъ мышцы, то имѣли бы всѣ необходимыя данныя для вычисленія электромоторной силы долженствующаго появиться при этомъ электрическаго тока.

Для такого, напр., случая, гдѣ въ одномъ мѣстѣ метаморфозъ совершается въ 10 разъ интенсивнѣе, чѣмъ въ другомъ, $\frac{c}{c_1} = \frac{100}{10}$. Откуда: $E = 0{,}043\ \log\ 10 = 0{,}043$ вольта.

Слѣдовательно, послѣ всего сказаннаго задача о вычисленіи электродвигательной силы мышечнаго тока сводится только къ опредѣленію отношенія c/c_1 между количествами углекислоты, вырабатываемыми въ двухъ мѣстахъ, которыя мы отводимъ въ данный моментъ въ гальванометръ. Опредѣлить это отношеніе въ нѣкоторыхъ случаяхъ возможно, и вычисливши послѣ этого теоретически электромоторную силу тока, мы получимъ, такимъ образомъ, возможность провѣрить основательность тѣхъ

предположеній и допущеній, которыя были сдѣланы нами при выводѣ вышеприведенной основной формулы.

Происходящій при этомъ въ самой мышцѣ процессъ мы должны наглядно представлять себѣ въ такомъ видѣ: іоны $\overset{+}{H}$ и $\overset{-}{CO_3}$, накопляясь въ какомъ-нибудь мѣстѣ мышцы, устремятся вслѣдствіе взаимнаго отталкиванія къ тому мѣсту, гдѣ концентрація ихъ будетъ меньше, но такъ какъ скорость несущаго положительное электричество водорода больше скорости отрицательныхъ CO_3, то при этомъ къ электроду, приложенному къ менѣе дѣятельному мѣсту, будетъ приноситься больше положительнаго, чѣмъ отрицательнаго электричества, вслѣдствіе чего въ мышцѣ появится токъ, идущій въ ней самой отъ мѣста съ большимъ накопленіемъ CO_3H_2 къ мѣсту съ меньшимъ накопленіемъ, во внѣшней же цѣпи направленіе тока будетъ обратное—отъ менѣе дѣятельнаго мѣста (+) къ болѣе дѣятельному (—), т. е. по отношенію къ электроду, приложенному къ этому послѣднему, токъ будетъ *входящій* (einsteigende Strom Германа), и это мѣсто должно быть, такимъ образомъ, отрицательно по отношенію къ болѣе покойному, что и наблюдается въ дѣйствительности.

Такимъ образомъ, если бы роль угольной кислоты внутри живой ткани, въ качествѣ электролита, выражалась такими простыми отношеніями, какъ это нами только что описано, то не представлялось бы ни малѣйшаго затрудненія вычислить разность потенціала въ любыхъ двухъ отводимыхъ въ гальванометръ точкахъ живой ткани, лишь бы только было извѣстно отношеніе между напряженіями въ нихъ углекислоты.

Однако въ дѣйствительности отношенія эти представляются далеко не столь простыми. Прежде всего слѣдуетъ указать на то обстоятельство, что, помимо соображеній чисто физическаго свойства, мы имѣемъ цѣлый рядъ доказательствъ физіологическаго характера относительно того, что углекислота, накопляющаяся въ жидкостяхъ и тканяхъ живого организма, находится въ состояніи, отличномъ отъ простого физическаго поглощенія ея тканевыми жидкостями, и даже не въ такомъ простомъ отношеніи къ нимъ, какое существовало бы, если бы CO_2 прямо

связывалась химически растворенными въ нихъ щелочами, напр. углекислымъ натромъ. Даже такая ткань, какъ кровь, которая спеціально предназначена служить резервуаромъ, въ которомъ собирается вся вырабатываемая въ организмѣ углекислота, чтобы потомъ выдѣлиться изъ нея прочь, — и та содержитъ CO_2 въ состояніи, гораздо болѣе сложномъ, чѣмъ простая химическая связь съ находящимися въ ней углекислыми солями. Какъ извѣстно, проф. Сѣченовъ, который подробно разработалъ этотъ вопросъ, — на основаніи сравненій относительно способности поглощенія и выдѣленія углекислоты, которыми отличаются растворы различныхъ солей — съ одной стороны, и кровь и кровяная сыворотка — съ другой, приходитъ къ выводу, что большая часть находящейся въ крови углекислоты находится въ сложномъ соединеніи съ бѣлковыми веществами, именно съ гемоглобиномъ красныхъ кровяныхъ шариковъ и съ глобулинами кровяной плазмы. Соединенія эти, согласно теоріи Сѣченова, должны обладать всѣми свойствами кислотъ, т. е. способны соединяться со щелочами и проч. [1]). При дѣйствіи углекислоты на глобулинъ, послѣдній обращается въ родъ ацидальбумина, являясь настоящей кислотой, которой Сѣченовъ даетъ названіе углеглобулиновой или карбоглобулиновой кислоты, и которая въ крови должна находиться въ соединеніи со щелочью въ формѣ углеглобулиновокислаго натрія. Болѣе интимнаго характера углеглобулиновой кислоты мы знать, конечно, не можемъ, т. е. не знаемъ, напр., того, со сколькими именно частицами CO_2 соединяется одна частица глобулина, и сколькими атомностями обладаетъ образованная такимъ образомъ кислота. Поэтому, если бы мы пожелали написать химическую формулу этого соединенія, то должны были бы изобразить ее такимъ образомъ: $G(CO_2)_mH_n$, гдѣ G — молекула глобулина, m — число связанныхъ съ ней частицъ углекислоты CO_2, и n—атомность кислоты, т. е. число атомовъ водорода, соединенныхъ съ карбоксильной группой. При полномъ насыщеніи этой гипотетической кислоты щелочью, она должна образовать среднюю соль, которой фор-

[1]) И. Сѣченовъ. О поглощеніи углекислоты солевыми растворами и кровью. Спб. 1879.

мула будетъ, слѣдовательно: $G(CO_2)_m Na_n$, а при неполномъ насыщеніи щелочью должна получиться кислая соль $G(CO_2)_m Na_k H_{n-k}$, гдѣ k число замѣщенныхъ паевъ водорода.

Въ такомъ состояніи слѣдуетъ представлять себѣ углекислоту, находящуюся въ крови. Что касается до состоянія CO_2 in loco nascendi, т. е. въ самомъ веществѣ тканей, гдѣ она возникаетъ, то на этотъ счетъ наши знанія почти сводятся къ нулю, причемъ все, что мы объ этомъ знаемъ, относится почти исключительно къ мышечной ткани, которая одна только и подвергалась систематическимъ изслѣдованіямъ въ этомъ направленіи.

Не вдаваясь въ подробное обсужденіе этого предмета, которое могло бы завести слишкомъ далеко, мы можемъ отослать желающихъ познакомиться короче съ относящимися сюда данными къ очень интересной и обстоятельной работѣ Флетчера [1]), въ которой указаны также предшествовавшія работы по этому же предмету Мино [2]), Фрея и Грубера [3]), Тиссо [4]) и др. Измѣряя при помощи усовершенствованныхъ методовъ газообмѣнъ мышцъ при самыхъ разнообразныхъ условіяхъ, Флетчеръ, въ подтвержденіе наблюденій названныхъ своихъ предшественниковъ, могъ убѣдиться, что выдѣленіе свободной углекислоты не стоитъ ни въ какомъ прямомъ отношеніи къ дѣятельному состоянію мускула; такъ напримѣръ, если свѣжевырѣзанная мышца лягушки сокращается подъ вліяніемъ умѣренныхъ раздраженій, то при этомъ наблюдается скорѣе уменьшеніе выдѣленія углекислоты, которая начинаетъ обильно выдѣляться только тогда, когда мышечное вещество начинаетъ переходить въ состояніе умиранія (rigor mortis), наступающаго вслѣдствіе болѣе сильныхъ раздраженій, или при долгой продолжительности опыта; но все выработанное въ мышцѣ количество углекислоты немедленно можетъ быть получено въ

[1]) W. M. Fletscher. The survival respiration of muscle. Journ. of physiol. Vol. XXIII. pp. 10—99. 1898—1899.

[2]) Arbeiten aus der physiol. Anstalt zu Leipzig. 11 Jahrgang, 1875. S. 1.

[3]) Arch. f. Anatomie u. Physiol. 1885.

[4]) Arch. de physiol. norm. et pathol. 1895. pp. 469 — 483, 492 — 499, 641—653; и Comp. rend. de la soc. de biologie. 1895. pp. 158—160, 177—179, 449—450.

свободномъ состояніи, если мышцу убить, погрузивши, напр., ее въ горячую воду.

На основаніи этихъ изслѣдованій, Флетчеръ приходитъ къ тому выводу, что продуктомъ жизнедѣятельности мускула является не углекислота, которой совсѣмъ не образуется при самой дѣятельности мышечнаго вещества, а какое то болѣе сложное химическое соединеніе, изъ котораго потомъ уже освобождается CO_2, какъ таковая; изъ вырѣзанной мышцы это выдѣленіе свободной углекислоты совершается подъ вліяніемъ такихъ моментовъ, которые вызываютъ умираніе протоплазмы, и вмѣстѣ съ тѣмъ способствуютъ распаденію предполагаемаго сложнаго соединенія, въ составъ котораго входитъ углекислота, въ живомъ же организмѣ свойствомъ выдѣлять углекислоту обладаетъ нормальная кровь, которая, такъ сказать, вышелачиваетъ CO_2 изъ этого сложнаго соединенія.

Какъ бы то ни было, но вышеизложенное служитъ указаніемъ на то, что углекислота не образуется внутри самаго вещества живыхъ тканей, какъ таковая, ни въ видѣ газа — CO_2, ни въ гидратной формѣ — угольной кислоты CO_3H_2.

Каково должно быть то гипотическое сложное химическое тѣло, которое возникаетъ при жизнедѣятельности живой ткани, въ частности мышечной, и изъ котораго потомъ выдѣляется CO_2 въ свободномъ видѣ, мы совершенно не знаемъ. Однако, по аналогіи съ результатами изслѣдованій Сѣченова относительно состоянія углекислоты въ крови, можно предполагать, что и внутри самой протоплазмы живыхъ тканей углекислота является въ подобномъ же сочетаніи, какъ и въ крови. Если предположить, что и здѣсь она находится въ связи съ бѣлкомъ, то химическая формула этого соединенія могла бы быть, подобно углеглобулиновой кислотѣ Сѣченова, изображена такъ: $A(CO_2)_m H_n$, гдѣ A обозначаетъ бѣлковую молекулу, съ которой соединена CO_2. Соединеніе это должно обладать всѣми свойствами кислоты и способностью, при наличности указанныхъ выше условій, выдѣлять свободную углекислоту въ кровь или въ окружающій воздухъ.

Послѣ всего вышеизложеннаго намъ, слѣдовательно, предстоитъ рѣшить вопросъ, какъ должно отразиться на силѣ мы-

шечныхъ токовъ,—которые, согласно нашему предположенію, обусловливаются неодинаковой концентраціей углекислоты въ двухъ отводимыхъ въ гальванометръ мѣстахъ мышцы, — то обстоятельство, что углекислота эта содержится внутри живой ткани не въ видѣ гидрата—угольной кислоты CO_3H_2, какъ это предполагали мы при выводѣ формулы (α) для вычисленія силы этихъ концентраціонныхъ токовъ, а въ болѣе сложномъ сочетаніи, подобномъ, напр., только что указанной сложной бѣлково-угольной кислотѣ $A(CO_2)_mH_n$.

Если предположить, что намъ приходится, дѣйствительно, имѣть дѣло съ этой кислотой, то мы должны допустить, что при электролитической диссоціаціи она будетъ распадаться на составляющіе ее іоны по формулѣ: $A(CO_2)_mH_n = A(CO_2)_m + nH$, т. е. дастъ, соотвѣтственно своей атомности, n положительныхъ іоновъ водорода, а въ видѣ отрицательнаго іона—сложный радикалъ $A(CO_2)_m$. Электродвигательная же сила диффузіоннаго тока въ этомъ случаѣ можетъ быть вычислена, какъ мы видѣли выше, по формулѣ:

$$\frac{u/n - v/n_1}{u+v}\ 0{,}0577\ \log\ \frac{p}{p_1}\ \text{Volt},$$

гдѣ u и v скорости движенія положительнаго и отрицательнаго іоновъ диффундирующаго электролита, а n и n_1 — ихъ атомности.

Такъ какъ, въ данномъ случаѣ, скорость положительнаго іона—водорода извѣстна, то для вычисленія намъ не достаетъ только знанія скорости отрицательнаго радикала $A(CO_2)_m$ и его атомности. Точно знать ихъ мы, конечно, не можемъ, но на основаніи приведеннаго выше правила (стр. 46), что скорость движенія іоновъ вообще уменьшается съ увеличеніемъ молекулярнаго вѣса, мы должны допустить, что скорость отрицательной группы $A(CO_2)_m$ во всякомъ случаѣ меньше скорости, какой обладаетъ отрицательный іонъ угольной кислоты CO_3, для которой мы уже вывели формулу (α). Принимая же во вниманіе, что іонъ $A(CO_2)_m$ представляетъ весьма сложную группу, въ составъ которой входитъ также бѣлковая частица, которая должна обладать чрезвычайно медленнымъ диффузіоннымъ движеніемъ, мы можемъ скорѣе всего думать, что скорость іона

$A(CO_2)_m$ должна быть совершенно ничтожна по сравненію съ такимъ быстро двигающимся іономъ, какъ H. Легко же видѣть, изъ приведенной формулы, что съ уменьшеніемъ скорости отрицательнаго іона v, вліяніе его на величину электродвигательной силы,—которое и такъ незначительно, благодаря малости v по сравненію съ u (скорость водорода),—уменьшится еще болѣе, такъ что, въ концѣ концовъ, имъ можно совсѣмъ пренебречь, и тогда формула (4, стр. 56):

$$E = \frac{u/n - v/n_1}{u+v}\ 0{,}0577\ \log\ \frac{p}{p_1}$$

обращается въ формулу (2, стр. 54):

$$E = \frac{0{,}0577}{n}\ \log\ \frac{p}{p_1},$$

т. е. электродвигательная сила получается такая же, какъ если бы токъ развивался на счетъ диффузіи однихъ только положительныхъ іоновъ водорода, а отрицательные совсѣмъ не принимали въ немъ никакого участія. Такъ какъ въ данномъ случаѣ дѣло идетъ о диффузіи іоновъ H, для которыхъ n=1, то для вычисленія получающейся при диффузіи разности потенціала получимъ окончательно:

$$E = 0{,}0577\ \log\ \frac{p}{p_1}\quad .\quad .\quad .\quad .\quad (\beta)$$

Величины, получаемыя по этой формулѣ, на 25% превышаютъ цифры, находимыя по формулѣ (α), выведенной для диффузіоннаго тока угольной кислоты CO_3H_2.

Какъ было уже замѣчено мною въ первыхъ моихъ работахъ, касавшихся измѣреній электродвигательной силы мышечныхъ токовъ (Невр. Вѣст., т. VI (1), стр. 187), послѣдняя оказывается въ нѣкоторыхъ случаяхъ въ дѣйствительности замѣтно выше, чѣмъ слѣдовало бы согласно вычисленію по формулѣ для CO_3H_2. На приводимыхъ ниже числовыхъ данныхъ, полученныхъ при измѣреніи электродвигательной силы мышечныхъ токовъ, получаемыхъ при разнообразныхъ условіяхъ отведенія и различныхъ состояніяхъ мышцъ, въ самомъ дѣлѣ замѣчается, что дѣйствительно наблюдаемыя величины гораздо болѣе совпадаютъ съ величинами, вычисляемыми по формулѣ (β) для диффузіоннаго тока, производимаго однимъ только іонами водорода, совсѣмъ не принимая въ разсчетъ отрицательныхъ

іоновъ CO_3. Однако я не рѣшился на этомъ основаніи предпочесть для вычисленія электромоторной силы токовъ формулу (β), выведенную для случая диффузіи однихъ только іоновъ водорода, совсѣмъ не принимая въ разсчетъ отрицательныхъ іоновъ $A(CO_2)_m$, формулѣ (α) для диффузіоннаго тока CO_3H_2, какъ потому, что мы все-таки не можемъ знать въ точности, насколько мала должна быть скорость отрицательнаго іона $A(CO_2)_m$, такъ и потому, главнымъ образомъ, что цифровый матеріалъ относительно величины электродвигательной силы мышечныхъ токовъ слишкомъ еще недостаточенъ, чтобы можно было рѣшать этотъ вопросъ; и въ таблицахъ, приводимыхъ въ послѣдующихъ главахъ, я только сопоставлялъ параллельныя вычисленія, произведенныя по той и другой формулѣ [1]).

[1]) Въ предшествующихъ своихъ работахъ, при вычисленіи электродвигательной силы мышечныхъ токовъ, я принималъ для скорости іона CO_3 прежнюю величину Кольрауша (W. A., 6) v=40 (при n=290). При этомъ для E получается нѣсколько большая (и, слѣдовательно, болѣе близкая къ дѣйствительно наблюдаемымъ) величина: $E=0{,}047 \log \frac{P}{p_1}$. Слѣдуетъ однако имѣть въ виду, что вообще точное опредѣленіе скорости іона CO_3 представляетъ весьма трудную задачу въ виду того обстоятельства, что если такихъ слабыхъ кислотъ, какъ угольная, при столь сильныхъ разведеніяхъ, какіе необходимы для подобныхъ измѣреній, подвержены въ значительной степени процессу такъ называемаго гидролиза, причемъ въ растворѣ получается свободная щелочь, гезр. гидроксильные іоны OH, присутствіе которыхъ, благодаря ихъ большой скорости по сравненію со скоростью іоновъ CO_3, въ значительной степени увеличиваетъ проводимость; вслѣдствіе этого скорость CO_3, вѣроятно, на самомъ дѣлѣ меньше приведенной на стр. 45 величины v=62. То же самое слѣдуетъ сказать и объ іонѣ $\overline{CO_3H}$, который долженъ появиться въ первой стадіи диссоціаціи угольной кислоты, когда отъ молекулы CO_3H_2 отщепляется одинъ только іонъ водорода. Изъ сопоставленія величинъ проводимости разведенныхъ растворовъ углекислаго и двууглекислаго калія ($CO_3HK=\overline{CO_3H}+K$), найденныхъ Ленцомъ (см. G. Wiedemann. Die Lehre v. d. Elektrität, Bd. I), можно заключить, что скорость этого послѣдняго іона, при нашемъ обозначеніи, должна быть около 50 или меньше. Если предположить, что при тѣхъ концентраціяхъ, при которыхъ содержится угольная кислота въ тканяхъ, диссоціація ея совершается именно по типу бинарнаго электролита, то для величины электродвигательной силы будемъ имѣть: u=290, v=50, n=1, n_1=1.

Отсюда: $E=0{,}041 \log \frac{P}{p_1}$ Volt.

Такъ какъ изъ всего вышеизложеннаго слѣдуетъ заключить, что угольная кислота, какъ таковая, т. е. въ формѣ CO_3H_2 должна быть исключена въ качествѣ причины, производящей электрическіе токи живыхъ тканей, то на приводимыя ниже цифры, вычисленныя по формуламъ (α) и (β), слѣдуетъ смотрѣть, какъ на крайніе предѣлы, между которыми должна заключаться величина электродвигательной силы мышечныхъ токовъ, причемъ (β) представляетъ наивысшій предѣлъ, который былъ бы достигнутъ въ томъ случаѣ, если бы скорость отрицательнаго іона, соединеннаго съ водородомъ, сдѣлалась совершенно ничтожной по сравненію со скоростью отрицательнаго іона CO_3, а (α) есть низшій предѣлъ, который долженъ былъ бы имѣть мѣсто, если бы скорость гипотетическаго іона $A(CO_2)_m$, замѣнившаго іонъ CO_3, была, тѣмъ не менѣе, ровна скорости послѣдняго.

Оставляя окончательное рѣшеніе вопроса объ интимной природѣ вещества, являющагося источникомъ электрическихъ токовъ мышцъ, открытымъ, во всемъ дальнѣйшемъ изложеніи я придерживался того взгляда, что главнѣйшимъ дѣйствующимъ агентомъ здѣсь должно почитаться описанное выше сложное сочетаніе угольной кислоты съ бѣлкомъ, причемъ однако, въ виду полнаго нашего невѣдѣнія относительно химической конституціи этого соединенія, я выражался всегда такъ, какъ будто дѣло шло о чистой гидратной формѣ угольной кислоты, CO_3H_2, распадающейся на іоны $\overset{-}{CO_3}$ и $\overset{+}{H}$. Какъ указано выше, ошибка при вычисленіи электродвигательной силы при этомъ будетъ лежать во всякомъ случаѣ въ предѣлахъ величинъ, находимыхъ по формуламъ (β) и (α). Поэтому насъ не можетъ особенно занимать съ этой стороны то обстоятельство, что въ дѣйствительности мы будемъ имѣть здѣсь дѣло не съ чистой угольной кислотой, а со сложной бѣлково-угольной, причемъ въ качествѣ отрицательнаго іона будетъ фигурировать не CO_3, а сложная группа: бѣлокъ$\overset{-}{+}CO_3$ и $\overset{+}{H}$. Какъ указано выше, ошибка при вычисленіи электродвигательной силы при этомъ будетъ лежать во всякомъ случаѣ въ предѣлахъ величинъ, находимыхъ по формуламъ (β) и (α). Поэтому насъ не можетъ особенно занимать съ этой стороны то обстоятельство, что въ дѣйствительности мы будемъ имѣть здѣсь дѣло не съ чистой угольной кислотой, а со сложной бѣлково-угольной, причемъ въ качествѣ отрицательнаго іона будетъ фигурировать не CO_3, а сложная группа: бѣлокъ$\overset{-}{+}CO_3$ и $\overset{+}{H}$.

Такимъ образомъ, изъ изложеннаго видно, что вліяніе, которое могло бы оказать на величину электромоторной силы мышечныхъ токовъ то обстоятельство, что угольная кислота, какъ таковая, не принимаетъ участія въ ихъ возникновеніи, причемъ вмѣсто отрицательнаго іона CO_3 появляется сложный отрицательный радикалъ $A(CO_2)_m$,—не можетъ быть значительнымъ, и даже не превышаетъ ошибокъ наблюденія, ибо какова бы ни была тотъ сложный радикалъ, который долженъ замѣнить отрицательный іонъ CO_3, вліяніе его на электродвигательную силу концентраціоннаго тока должно, во всякомъ случаѣ, отступить на задній планъ передъ вліяніемъ столь быстро двигающаго іона, какъ водородъ. Поэтому единственное возраженіе, которое можно было бы выставить противъ изложеннаго выше взгляда, что мышечный токъ обязанъ своимъ происхожденіемъ сложному сочетанію угольной кислоты съ бѣлкомъ, соотвѣтствующему углеглобулиновой кислотѣ Сѣченова, можетъ касаться только вопроса о положительныхъ іонахъ, которые должны появляться при электролитическомъ расщепленіи этого гипотетическаго соединенія, химическую формулу котораго мы представляли въ общемъ видѣ $A(CO_2)_m H_n$.

Однако, съ этой стороны наша точка зрѣнія можетъ считаться въ доста-

точной степени обоснованной, такъ какъ усиленное накопленіе іоновъ водорода въ дѣятельномъ мышечномъ веществѣ не подлежитъ никакому сомнѣнію, на что указываетъ появленіе кислой реакціи дѣятельной мышечной ткани. Дѣло въ томъ, что съ физико-химической точки зрѣнія кислая реакція раствора, содержащаго какую-нибудь кислоту, обусловливается не чѣмъ инымъ, какъ присутствіемъ въ немъ свободныхъ іоновъ водорода, появляющихся вслѣдствіе диссоціаціи молекулъ кислоты,—чѣмъ больше этихъ іоновъ, тѣмъ больше степень кислотности раствора; такъ, напримѣръ, если мы возьмемъ эквимолекулярные (т. е. содержаніе одинаковое число гр.-молекулъ на литръ воды) растворы соляной и, напр., уксусной или молочной кислоты, то первая оказывается «сильнѣе» второй только потому, что степень диссоціаціи ея больше, т. е. больше количество свободныхъ іоновъ водорода, которое содержится въ равныхъ объемахъ той и другой. Поэтому тотъ фактъ, что при дѣятельности мышцы она начинаетъ реагировать кисло, причемъ эта кислотность увеличивается параллельно степени дѣятельности, является несомнѣннымъ доказательствомъ усиленнаго накопленія при этомъ въ мышечномъ веществѣ свободныхъ іоновъ водорода.

Такимъ образомъ, изъ всего вышеизложеннаго въ концѣ концовъ вытекаетъ, что для объясненія мышечныхъ токовъ съ точки зрѣнія развиваемой нами диффузіонной теоріи этихъ токовъ намъ было бы удобнѣе всего свесть ихъ на случай концентраціоннаго тока, происходящаго вслѣдствіе диффузіи сложнаго вещества, являющагося при регрессивномъ метаморфозѣ мышечной ткани въ качествѣ предшествующей стадіи угольной кислоты, и которое можно назвать бѣлково-угольной кислотой; послѣдняя, распадаясь на составляющіе ее іоны, и обусловитъ появленіе мышечнаго тока, электродвигательная сила котораго должна нѣсколько превышать силу диффузіоннаго тока угольной кислоты.

Ставя вопросъ такимъ образомъ, мы тѣмъ самымъ, попутно, затрагиваемъ другой весьма важный, и собственно не касающійся насъ прямо, вопросъ мышечной физіологіи, а именно, о причинѣ появленія кислой реакціи дѣятельной мышечной ткани. Вопросъ этотъ весьма труденъ самъ по себѣ и до сихъ поръ не можетъ еще считаться разрѣшеннымъ сколько-нибудь удовлетворительно. Извѣстно, что обыкновенно кислую реакцію дѣятельнаго мускула приписываютъ появленію фосфорной и молочной кислотъ. Но такъ какъ количество появляющейся при этомъ свободной,—не соединенной ни съ нуклеинами, ни съ летициномъ,—фосфорной кислоты весьма незначительно, а появленіе молочной кислоты даже совсѣмъ отрицается многими авторами при нормальныхъ условіяхъ, то объясненіе это неоднократно вызывало большія возраженія, и если оно и принимается теперь большинствомъ физіологовъ, то скорѣе потому, что ничѣмъ другимъ, повидимому, нельзя объяснить кислую реакцію мышцы въ данномъ случаѣ. Не вдаваясь въ излишнія подробности касательно этого вопроса, которыя могли бы завесть насъ слишкомъ далеко, я отмѣчу здѣсь только то обстоятельство, что ничто не мѣшаетъ намъ думать, что появленіе кислой реакціи въ дѣятельной мышцѣ обусловлено именно тѣмъ сочетаніемъ угольной кислоты съ бѣлкомъ, которое мы назвали выше бѣлково-угольной кислотой.

Какъ бы то ни было, но разъ не подлежитъ сомнѣнію, что дѣятельная мышечная протоплазма пріобрѣтаетъ способность окрашивать синюю лакмусовую бумажку въ красный цвѣтъ, то этимъ самымъ устанавливается несомнѣнный фактъ появленія въ ней свободныхъ іоновъ водорода; какими же именно отрицательными іонами будутъ сопровождаться эти положительные H, т. е. какая именно кислота при этомъ образуется,—это для насъ, въ концѣ концовъ, представляется вопросомъ второстепеннымъ, такъ какъ отрицательные іоны, какъ мы видѣли раньше, могутъ оказывать сравнительно малое вліяніе на электродвигательную силу могущаго появиться здѣсь диффузіоннаго тока, по причинѣ незначительной скорости этихъ іоновъ по сравненію со скоростью іоновъ водорода. Такимъ образомъ, если бы впослѣдствіи было доказано, что кислая реакція дѣятельной мышцы зависитъ отъ развитія въ ней какой-либо другой кислоты, напр., молочной или фосфорной, или отъ какого-нибудь сложнаго сочетанія этихъ послѣднихъ кислотъ съ бѣлкомъ, то это обстоятельство нисколько не противорѣчило бы выведеннымъ нами выше формуламъ для вычисленія электродвигательной силы мышечнаго тока, причемъ послѣдняя попрежнему должна была бы заключаться между предѣлами, опредѣляемыми по формуламъ (α) и (β) [1]. Равнымъ образомъ, если бы мышечный токъ былъ обязанъ своимъ происхожденіемъ не одной какой-нибудь изъ приведенныхъ выше кислотъ, а нѣсколькимъ сразу (что, впрочемъ всего, и есть на самомъ дѣлѣ), то и это обстоятельство не могло бы оказать особеннаго вліянія на его электродвигательную силу, такъ какъ при этомъ произошла бы только частичная замѣна нѣкоторой части отрицательныхъ іоновъ другими, мало разнящимися отъ нихъ по скорости, іонами (при этомъ, разумѣется, слѣдуетъ допустить, что въ обоихъ отводимыхъ въ гальванометръ мѣстахъ отношеніе между количествами разныхъ іоновъ остается одно и то же, что, впрочемъ, и а priori весьма вѣроятно, такъ какъ всѣ они образуются при распадѣ одной и той мышечной субстанціи,—ср. гл. II, стр. 58).

Покончивши съ вопросомъ о томъ, какое вліяніе на электролитическія свойства угольной кислоты должно оказывать то обстоятельство, что она присутствуетъ въ живой ткани не какъ таковая, а въ связномъ сочетаніи съ бѣлкомъ, мы должны обратить вниманіе еще на нѣкоторыя обстоятельства, которыя мы не принимали въ разсчетъ при выводѣ вышеприведенныхъ формулъ для вычисленія электроморторной силы мышечнаго тока.

Мы допускали, между прочимъ, что вырабатываемая при дѣятельности мышцы угольная кислота CO_2H_2, присутствуетъ

[1] Напр. для молочной кислоты будемъ имѣть: $n=290$, $\nu=30$, $n_1=1$, $\nu_1=1$; откуда найдемъ: $E = 0{,}0468 \log \frac{p}{p_1} V$; а для фосфорной ($\nu=40$, $\nu_1=1$)—полу чимъ: $E=0{,}0437$ V.

въ жидкости живой ткани въ видѣ раствора столь слабой концентраціи, что можетъ быть разсматриваема, какъ находящаяся въ состояніи полной диссоціаціи. Извѣстно, что при выкачиваніи воздушнымъ насосомъ тканевыя жидкости способны выдѣлить до 40 $^0/_0$ CO_2; какъ видно изъ приведенной на стр. 66 таблицы, при такомъ разведеніи угольная кислота является, однако, еще очень мало диссоціированной (0,47$^0/_0$). Правда, степень концентраціи углекислоты въ тканевыхъ жидкостяхъ, гдѣ она находится главной своей массой въ химическомъ соединеніи со щелочами, еще ничего не говоритъ относительно концентраціи свободной угольной кислоты, которая должна вырабатываться внутри протоплазмы каждой отдѣльной клѣтки, откуда она, быть можетъ, очень быстро выщелачивается и поступаетъ въ окружающія тканевыя жидкости, но однако, судя по тому, что угольная кислота принадлежитъ къ числу чрезвычайно слабо диссоціированныхъ кислотъ, слѣдуетъ думать, что даже при самыхъ слабыхъ концентраціяхъ ея въ протоплазмѣ живыхъ клѣтокъ, при которыхъ еще возможно разсчитывать на законномѣрное и согласное съ теоріею развитіе концентраціоннаго тока, степень диссоціаціи ея должна быть очень незначительна.

Обстоятельство же это представляется для насъ въ высшей степени важнымъ, ибо, какъ мы видѣли въ предыдущей главѣ, въ такомъ случаѣ осмотическія давленія свободныхъ іоновъ CO_3H_2 должны были бы измѣняться не прямо пропорціонально концентраціямъ CO_3H_2 въ отводимыхъ въ гальванометръ мѣстахъ, а пропорціонально квадратнымъ корнямъ изъ концентрацій, благодаря чему электродвигательная сила концентраціоннаго тока должна была быть ровно вдвое меньше, чѣмъ въ случаѣ полной диссоціаціи.

Какъ ни непостоянны бываютъ иногда результаты измѣреній электродвигательной силы мышечныхъ токовъ, однако они безусловно не соотвѣтствуютъ тѣмъ величинамъ, которыя должны были бы получиться при предположеніи, что токи эти обусловливаются слабо диссоціированнымъ электролитомъ, осмотическія давленія котораго возрастаютъ пропорціонально квадратнымъ корнямъ концентрацій.

Такимъ образомъ для того, чтобы согласовать находимыя въ дѣйствительности величины съ теоретически вычисленными, необходимо или вовсе отказаться отъ предположенія, что электромоторная дѣятельность мышечной ткани обусловливается неодинаковой концентраціей угольной кислоты въ двухъ отводимыхъ въ гальванометръ участкахъ, приписавши ее исключительно другому электролиту, напр. фосфорной кислотѣ, или же допустить, что угольная кислота находится при этомъ въ такихъ условіяхъ, которыя, если и не увеличиваютъ значительно степень ея диссоціаціи, то по крайней мѣрѣ способствуютъ тому, что отношеніе количествъ свободныхъ іоновъ CO_3H_2 будетъ равно отношенію концентрацій, а не квадратному корню изъ этого отношенія.

Съ перваго взгляда можетъ казаться, что намъ, дѣйствительно, проще всего было бы остановиться на первомъ предположеніи, т. е., отказавшихъ совсѣмъ отъ допущенія участія въ развитіи мышечныхъ токовъ углекислоты, приписать эту функцію фосфорной кислотѣ. Въ самомъ дѣлѣ, какъ видно изъ приведенной въ предыдущей главѣ таблицы, фосфорная кислота въ такихъ концентраціяхъ, въ какихъ она вообще встрѣчается въ живой ткани (въ плазмѣ крови и лимфѣ содержится не болѣе 0,1$^0/_0$ фосфорно-кислыхъ солей), можетъ считаться совершенно диссоціированной (въ нѣкоторыхъ случаяхъ, однако, ошибка при этомъ могла бы достигать 20$^0/_0$), и такъ какъ скорость движенія отрицательнаго іона PO_4H_2, который получается при диссоціаціи фосфорной кислоты не очень разнится отъ скорости движенія іона CO_3, то и вычисленныя величины электродвигательной силы концентраціонныхъ токовъ должны были бы быть для фосфорной кислоты такія же, какъ и для угольной, и какія наблюдаются въ дѣйствительности.

Однако, мнѣ кажется, что было бы слишкомъ поспѣшно выводить на основаніи этихъ данныхъ заключеніе о томъ, что источникомъ мышечныхъ токовъ должна быть признана главнымъ образомъ фосфорная кислота, а не угольная. Противъ этого, какъ уже было упомянуто, говоритъ ничтожное количество фосфорной кислоты, которое вообще образуется въ организмѣ по сравненію съ угольной (суточное выдѣленіе фосфорной

кислоты составляетъ около 3 граммъ, причемъ значительная часть ея должна быть отнесена на счетъ регрессивныхъ процессовъ, совершающихся въ центральной нервной системѣ, тогда какъ углекислота выдѣляется въ количествѣ 900 гр.); кромѣ того въ послѣднее время Валлеромъ [1]), а вслѣдъ за нимъ и многими другими наблюдателями было обращено вниманіе на то, иногда чрезвычайное рѣзкое вліяніе, которое оказываетъ на электромоторную дѣятельность нервовъ (отрицательное колебаніе и проч.) накопленіе углекислоты, какъ во внѣшней атмосферѣ при производствѣ опыта, такъ и при задержкѣ ея внутри ткани, — обстоятельство это едва-ли могло имѣть мѣсто, если-бы угольная кислота не принимала преобладающаго участія въ развитіи электрическихъ токовъ живыхъ тканей; къ этому же нужно прибавить и то обстоятельство, что изъ приводимыхъ ниже (гл. XI) фактовъ, касающихся электромоторной дѣятельности растеній, въ которыхъ совсѣмъ не образуется фосфорной кислоты, тоже слѣдуетъ заключить о той весьма важной роли, которую должна играть въ данномъ случаѣ угольная кислота.

Поэтому я думаю, что было бы болѣе согласнымъ съ имѣющимися въ наличности фактами остановиться на второмъ высказанномъ выше предположеніи, а именно, что угольная кислота или, правильнѣе, ея бѣлковое производное, которое мы назвали выше бѣлково-угольной кислотой, находится внутри живой ткани при такихъ условіяхъ, что оно или вполнѣ диссоціировано, или же, во всякомъ случаѣ,—что степень его диссоціаціи постоянна, т. е. что осмотическія давленія свободныхъ іоновъ измѣняются пропорціонально концентраціи всего растворенаго вещества (стр. 62).

Къ сожалѣнію вопросъ объ измѣненіи степени диссоціаціи различныхъ веществъ, въ зависимости отъ тѣхъ или иныхъ измѣненій въ ихъ химической конституціи, слишкомъ еще мало разработанъ для того, чтобы мы могли привесть здѣсь несомнѣнное доказательство въ пользу того, что соединеніе угольной кислоты съ бѣлкомъ должно увеличить степень ея диссо-

[1]) См. A. D. Waller. Tierische Elektrizität. 1899.

ціаціи. Однако нѣкоторыя указанія въ пользу этого взгляда мы можемъ привесть. Въ теоретической химіи извѣстенъ фактъ часто весьма сильнаго увеличенія степени диссоціаціи слабыхъ кислотъ отъ вступленія въ ихъ частицу нѣкоторыхъ, такъ называемыхъ отрицательныхъ радикаловъ, каковы хлоръ, ціанъ, гидроксилъ и др. Такъ, напримѣръ, молекулярная жадность, resp. степень диссоціаціи, 0,1-нормальнаго раствора уксусной кислоты выражается числомъ 1,23, но сравненію съ азотной кислотой, жадность которой принимается за 100, тогда какъ жадность моно-, ди- и три-хлороуксусной кислоты выражается цифрами 7,33 и 80; такимъ образомъ, вступленіе въ частицу уксусной кислоты трехъ атомовъ хлора дѣлаетъ одну изъ наиболѣе слабыхъ кислотъ равной по силѣ сѣрной кислотѣ. Возможно, что нѣчто подобное происходитъ и здѣсь, и что вступленіе въ молекулу бѣлка (ацидальбумина, по Сѣченову) одной или нѣсколькихъ группъ CO_2 (или CO_3) способствуютъ отщепленію отъ нея атомовъ водорода въ видѣ свободныхъ іоновъ. Въ доказательство вѣроятности такого предположенія, я позволю себѣ указать на то обстоятельство, что уже Сѣченовъ, на основаніи совершенно особыхъ, ничего не имѣющихъ общаго съ приведеними выше, соображеній, пришелъ къ заключенію, что его углеглобулиновая кислота «сильнѣе» угольной [1]), т. е., другими словами, что эквимолекулярные растворы первой содержатъ большее количество свободныхъ іоновъ водорода. По Сѣченову сила углеглобулиновой кислоты должна увеличиваться съ увеличеніемъ количества связанной съ глобулиномъ углекислоты. Съ точки зрѣнія современныхъ физико-химическихъ воззрѣній это можетъ быть истолковано въ смыслѣ увеличенія степени диссоціаціи этой гипотической кислоты.

Такимъ образомъ, допущеніе, что соединеніе угольной кислоты съ бѣлками дастъ такую кислоту, которая по силѣ приближается къ болѣе сильнымъ неорганическимъ кислотамъ, и можетъ быть принята вполнѣ диссоціировавшей на составляющіе ее іоны, въ столь сравнительно слабыхъ растворахъ,

[1]) Op. cit., стр 134

въ какихъ она содержится въ тканяхъ организма,—не только не заключаетъ въ себѣ ничего невозможнаго, но даже можетъ считаться вѣроятнымъ.

Однако, принимая такое предположеніе, слѣдуетъ имѣть въ виду, что оно отнюдь не является для насъ абсолютно необходимымъ, такъ какъ мы видѣли въ предыдущей главѣ, что въ сложныхъ растворахъ, содержащихъ не одно, а нѣсколько растворенныхъ веществъ, возможны такія комбинаціи, когда число свободныхъ іоновъ какого-нибудь одного рода будетъ измѣняться пропорціонально измѣненію концентраціи вещества, изъ расщепленія котораго они возникаютъ, хотя бы это вещество и принадлежало къ числу слабыхъ, т. е. мало диссоціированныхъ, электролитовъ. Такое положеніе будетъ, напримѣръ, въ томъ случаѣ, когда слабая кислота находится въ растворѣ, въ присутствіи болѣе или менѣе значительнаго количества своихъ солей; при этомъ число свободныхъ іоновъ водорода будетъ увеличиваться пропорціонально количеству всей растворенной кислоты (стр. 62).

Возможно, что такое именно положеніе имѣетъ мѣсто въ живыхъ тканяхъ по отношенію къ предполагаемой нами бѣлково-угольной кислотѣ.

Такъ какъ въ протоплазмѣ не содержится свободныхъ щелочей, то образующаяся при регрессивномъ метаморфозѣ клѣтокъ бѣлково-угольная кислота $A(CO_2)_m H_n$ не можетъ, конечно, дать солей вродѣ, напримѣръ, $A(CO_2)_m Na_n$; однако возможно допустить, что въ этомъ случаѣ будетъ происходить подобная реакція между нею и находящимися здѣсь щелочными альбуминатами, причемъ, слѣдовательно, должно получиться солеобразное соединеніе типа $A(CO_2)_m B_p$, гдѣ B должно соотвѣтствовать нѣкоторому сложному бѣлковому радикалу, обладающему щелочнымъ характеромъ (возможно, что при этомъ съ бѣлковой частицей B находится въ соединеніи обыкновенная щелочь, которая играетъ здѣсь такую же роль, какъ группа CO_2, соединенная съ бѣлковой частицей A, чѣмъ и обусловливается щелочной характеръ бѣлка). Если это солеобразное соединеніе въ достаточной степени диссоціировано, то при этомъ въ растворѣ должно появиться болѣе или

менѣе значительное количество свободныхъ іоновъ $\overline{A(CO_2)_m}$, благодаря чему, при появленіи новыхъ количествъ кислоты $A(CO_2)_m H_n$, для нейтрализаціи которыхъ уже окажется недостаточно находящихся здѣсь щелочныхъ альбуминатовъ,—число свободныхъ іоновъ водорода будетъ возрастать пропорціонально количеству свободной, не нейтрализованной кислоты.

Предполагая, однако, такія условія, необходимо допустить, что уже въ состояніи полнаго покоя и бездѣятельности, какой вообще возможенъ при подобныхъ опытахъ, всѣ находящіеся въ протоплазмѣ алкали-альбуминаты вполнѣ нейтрализованы этой бѣлково-угольной кислотой, такъ какъ въ противномъ случаѣ извѣстная часть изъ новыхъ, образующихся при дѣятельности, порцій этой бѣлково-угольной кислоты $\overline{+}$ шла бы на ихъ нейтрализацію, причемъ свободные іоны H исчезали бы изъ раствора (соединяясь съ гидроксиломъ щелочи), и такимъ образомъ число ихъ не могло бы находиться въ прямомъ отношеніи къ количеству всей вновь образованной кислоты, resp. къ интенсивности раздраженія и дѣятельности. Само по себѣ предположеніе это не заключаетъ въ себѣ ничего невѣроятнаго, такъ какъ легко предположить, что и совершенно бездѣятельная протоплазма можетъ заключать въ себѣ болѣе или менѣе значительныя количества бѣлково-угольной кислоты въ связанномъ со щелочными альбуминатами состояніи, причемъ послѣдняя начинаетъ выдѣляться въ кровь только тогда, когда количество ея станетъ превышать количество потребныхъ для ея нейтрализаціи алкали-альбуминатовъ. При этомъ также слѣдуетъ допустить, что гипотетическая бѣлково-угольная кислота или принадлежитъ къ числу одноосновныхъ кислотъ, или же, по крайней мѣрѣ, что диссоціація ея при тѣхъ концентраціяхъ, съ какими намъ приходится имѣть дѣло, совершается по типу бинарнаго электролита, съ отщепленіемъ одного только іона водорода, такъ какъ вліяніе присутствія соли на диссоціацію въ указанномъ смыслѣ имѣетъ мѣсто только по отношенію къ бинарнымъ электролитамъ (стр. 63).

Кромѣ того, чтобы имѣть возможность вычислить электро-

моторную силу мышечныхъ токовъ при этихъ условіяхъ, необходимо допустить, что скорость бѣлковыхъ радикаловъ $\overline{A(CO_2)_m}$ и $\overline{B}$ или $\overline{B(Na)_k}$, играющихъ роль положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ, весьма мала по сравненію со скоростью іоновъ $\overset{+}{H}$, такъ какъ въ противномъ случаѣ они могли бы вліять на величину электродвигательной силы тока, и притомъ, въ болѣе или менѣе значительной степени (гл. II, стр. 58), ибо число ихъ, согласно нашимъ предположеніямъ, должно превышать по крайней мѣрѣ въ нѣсколько разъ число свободныхъ іоновъ водорода.

Вообще, если допускать, что находящіяся въ протоплазмѣ въ растворенномъ состояніи молекулы нѣкоторыхъ органическихъ веществъ могутъ играть роль іоновъ, то возможно представить еще нѣсколько комбинацій, при которыхъ число свободныхъ іоновъ водорода возрастало бы, даже при слабыхъ кислотахъ, пропорціонально увеличенію общаго количества кислоты. Однако, въ виду полной произвольности всякихъ измышленій подобнаго рода, едва-ли было бы необходимо пускаться здѣсь въ ихъ подробное разсмотрѣніе.

При изложеніи вышеприведенныхъ соображеній я имѣлъ въ виду главнымъ образомъ показать, что вопросъ о степени диссоціаціи электролитовъ, обусловливающихъ развитіе мышечнаго тока, не можетъ представить существенныхъ препятствій для развиваемаго нами взгляда на сущность электромоторной дѣятельности мышечной ткани. При скудности нашихъ познаній относительно интимнаго характера химическихъ процессовъ, сопровождающихъ дѣятельность мышцы, рѣшить его окончательно теперь едва-ли возможно, и каждому предоставляется имѣть на этотъ счетъ свое собственное мнѣніе, — мнѣ лично наиболѣе вѣроятнымъ кажется то изъ развитыхъ выше предположеній, согласно которому самую видную роль въ этомъ процессѣ играетъ особое соединеніе угольной кислоты съ бѣлкомъ, которое мы назвали выше бѣлково-угольной кислотой, причемъ степень диссоціаціи этой гипотической кислоты, въ столь незначительныхъ концентраціяхъ, въ какихъ вообще она находится въ живыхъ тканяхъ, настолько велика,

что можетъ быть принята за полную, такъ что количество свободныхъ іоновъ водорода будетъ при этомъ всегда соотвѣтствовать всему количеству кислоты [1]).

Какъ бы то ни было, и отчего бы послѣдній фактъ ни зависѣлъ, мы должны признать его существованіе на основаніи измѣреній дѣйствительной силы мышечныхъ токовъ при разныхъ условіяхъ. Въ виду изложеннаго, и во избѣжаніе повтореній, во всемъ дальнѣйшемъ изложеніи отношенія осмотическихъ давленій свободныхъ іоновъ p/p_i вездѣ предполагаются равными отношеніямъ концентрацій c/c_i, такъ что я вездѣ употреблялъ выраженія количество и концентрація угольной кислоты — съ одной стороны, и осмотическое давленіе ея іоновъ — съ другой, какъ синонимы, хотя это и не совсѣмъ правильно; сообразно съ этимъ и въ формулахъ обозначеніе p/p_i употреблялось вмѣсто c/c_i безъ всякихъ оговорокъ.

Здѣсь я только долженъ еще обратить вниманіе на то обстоятельство, что несмотря на указанныя выше затрудненія со стороны слабой диссоціаціи растворовъ чистой угольной кислоты, въ концѣ концовъ мы все-таки не можемъ исключить окончательно возможность допустить, что развитіе мышечныхъ токовъ обязано своимъ происхожденіемъ діффузіи просто іоновъ $\overline{CO_3}$ и $\overset{+}{H}$, возникающихъ при диссоціаціи простой угольной кислоты, безъ участія бѣлковъ. Это могло бы происходить при допущеніи, что въ то время, какъ наибольшая часть угольной (или фосфорной) кислоты находится въ дѣятельной протоплазмѣ настолько прочно связанной съ бѣлками, что совсѣмъ не можетъ оказывать никакого дѣйствія въ качествѣ электролита, небольшая часть ея является въ свободномъ состояніи, причемъ часть эта настолько незначительна, что ее можно считать уже въ вполнѣ диссоціированномъ состояніи (особенно это примѣнимо въ отношеніи къ фосфорной

[1]) Правильнаго рѣшенія вопроса объ источникѣ электромоторной дѣятельности мышцы скорѣе всего можно было бы ожидать отъ изученія тѣхъ вліяній, какія оказываютъ на электропроводимость мышечнаго вещества предшествующая дѣятельность, тезр. появляющіеся при этомъ продукты регрессивнаго метаморфоза. Однако систематическіе опыты въ этомъ направленіи совсѣмъ не производились.

кислотѣ, степень диссоціаціи которой уже въ растворахъ ниже 0,1% (1/100 норм.), для нашей цѣли можетъ считаться полной.

Чтобы покончить съ вопросомъ о химическомъ источникѣ мышечныхъ токовъ, слѣдуетъ еще сказать нѣсколько словъ о томъ, какое вліяніе должно оказывать на силу этихъ токовъ присутствіе внутри живой мышечной ткани въ растворенномъ состояніи цѣлаго ряда другихъ веществъ, о которыхъ мы до сихъ поръ ничего не говорили, и изъ которыхъ нѣкоторыя не принадлежатъ къ числу электролитовъ,—какъ углеводы,—другія же обладаютъ весьма сильными электролитическими свойствами,—какъ, напр., соли.

Что касается до веществъ перваго рода, то хотя они, не принадлежа къ числу электролитовъ и не распадаясь на іоны, не могутъ оказывать прямого вліянія на электродвигательную силу тока, но косвенное вліяніе съ ихъ стороны все-таки возможно, въ зависимости, главнымъ образомъ, отъ увеличенія тренія, встрѣчаемаго іонами при движеніи. Однако вліяніе это не очень велико. По изслѣдованіямъ Аррениуса [1]) оказывается, что прибавленіе къ слабымъ водянымъ растворамъ нѣкоторыхъ электролитовъ, въ томъ числѣ и кислотъ, такихъ веществъ, какъ алкоголь, эфиръ, глицеринъ, сахаръ и др., увеличиваетъ ихъ сопротивленіе около 2% на каждый процентъ прибавленнаго неэлектролита. Однако слѣдуетъ имѣть въ виду, что такъ какъ усиленное треніе, встрѣчаемое движущимися іонами, въ болѣе или менѣе равной степени должно оказывать свое вліяніе какъ на положительные, такъ и на отрицательные іоны, то возможно, что несмотря на усиленіе сопротивленія, паденіе потенціала на мѣстѣ соприкосновенія двухъ растворовъ, къ которымъ примѣшано нѣкоторое количество неэлектролитовъ, остается прежнимъ, ибо послѣднее не должно измѣняться, если скорость положительнаго и отрицательнаго іоновъ уменьшится въ одномъ и томъ же отношеніи. Съ другой стороны, имѣются указанія, что процессъ за-

[1]) S. Arrhenius. Über Änderung d. elektr. Leitungsvermögen einer Lösung durch Zusatz von kleinen Mengen eines Nichtleiters. Zeitschr. physik. Chemie. Bd. 9, SS. 487—511 (1892).

стиванія такого вещества, какъ напр. желатинъ, къ которому ближе всего подходитъ по консистенціи протоплазма живой ткани, совсѣмъ не оказываетъ замѣтнаго вліянія на электролитическую проводимость растворовъ, въ которыхъ онъ содержатся, resp. на скорость находящихся въ нихъ іоновъ [1]).

Гораздо большаго вліянія можно было бы ожидать со стороны разныхъ солей, растворенныхъ въ жидкостяхъ живыхъ тканей. Изъ приведенной на стр. 57 формулы Планка для вычисленія электродвигательной силы на границѣ двухъ соприкасающихся растворовъ видно, что присутствіе какихъ-либо іоновъ, даже равномѣрно распредѣленныхъ въ обоихъ растворахъ, не можетъ остаться безъ вліянія на электродвигательную силу диффузіоннаго тока, причемъ вліяніе это тѣмъ больше, чѣмъ больше количество этихъ равномѣрно распредѣленныхъ іоновъ по отношенію къ числу остальныхъ, концентрація которыхъ въ обоихъ растворахъ неодинакова, а также чѣмъ большей скоростью движенія они обладаютъ.

Однако, для тѣхъ опытовъ съ измѣреніями силы мышечныхъ токовъ, съ которыми намъ придется имѣть дѣло ниже, это затрудненіе устраняется само собою, такъ какъ во всѣхъ этихъ опытахъ дѣло идетъ о токахъ, получающихся при непосредственномъ отведеніи отъ живой ткани, resp. отъ протоплазмы живыхъ клѣтокъ, гдѣ предполагается усиленный метаморфозъ и увеличенное накопленіе продуктовъ распада, въ живой же протоплазмѣ мы не можемъ предполагать сколько-нибудь значительнаго содержанія солей въ состояніи простого растворенія [2]). Что же касается до солей, раство-

[1]) M. Lüdeking. Leitungsfähigkeit gelatinhaltigen Zinkvitriollösungen. Wied. Ann. Bd. 37, SS. 172—176; цит. по G. Wiedemann's die Lehre v. d. Elektricität, Bd. I, 2 Aufl. См. также M. le Blanc. Electrochemie, S. 98 и W. Nernst. Theoretische Chemie. S. 330.

[2]) Буффа (Arch. internat. de pharmacodyn. et de therap. VII, pp. 425—431; цит. по реф. въ L. Hermann's Jahresber. über die Fortschritte der Physiologie. Bd IX, 1901. S. 187), на основаніи криоскопическихъ опредѣленій, пришелъ къ выводу, что даже хлориды кровяной сыворотки въ нормальномъ состояніи находятся въ связанномъ видѣ съ бѣлками. Этому какъ бы противорѣчатъ изслѣдованія Оверблома (Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 79, SS. 111—145), который нашелъ, что приводимость кровяной сыворотки находится въ прямой зависимости отъ количества солей, причемъ степень диссоціаціи ихъ

ренныхъ въ жидкостяхъ межклѣточныхъ пространствъ, лимфатическихъ щеляхъ и тому подобное, то, согласно соображеніямъ, приведеннымъ въ концѣ предыдущей главы (стр. 59), присутствіе ихъ не можетъ оказывать никакого вліянія на электродвигательную силу отводимаго тока, такъ какъ послѣдняя зависитъ только отъ концентраціи растворовъ въ точкахъ отведенія, составъ же проводящей жидкости, находящейся на пути тока между двумя электродами, можетъ оказывать вліяніе только на величину сопротивленія, т. е. на плотность (густоту) тока, а не на разность потенціала между отводимыми точками.

Такимъ образомъ, въ данномъ случаѣ живая клѣточка, прилежащая къ самому наконечнику отводящаго глинянаго электрода, скорѣе всего можетъ быть сравнена съ губчатой платиной, употребляемой для газовыхъ электродовъ. Подобно тому, какъ отъ напитанной газомъ платины переходятъ въ растворъ іоны этого газа, такъ же точно переходятъ они въ данномъ случаѣ и отъ клѣточки, въ протоплазмѣ которой они вырабатываются, въ омывающую ее жидкость межклѣточныхъ пространствъ,—и въ томъ, и въ другомъ случаѣ промежуточная жидкость служитъ только простымъ передатчикомъ іоновъ, причемъ она не оказываетъ никакого вліянія на электродвигательную силу появляющагося при этомъ тока, которая зависитъ только отъ концентраціи производящихъ токъ іоновъ въ конечныхъ пунктахъ отведенія.

Резюмируя всѣ изложенные выше соображенія, мы можемъ ихъ формулировать слѣдующимъ образомъ: 1) *электрическіе токи, наблюдаемые на мышцахъ, суть токи концентраціонные, зависящіе отъ неодинаковаго накопленія въ двухъ отводимыхъ въ гальванометръ участкахъ мышцы какой-то кислоты, по всей вѣроятности особаго соединенія угольной кислоты съ бѣлкомъ, причемъ, однако, не исключается возможность участія въ процессѣ, въ большей или меньшей степени, подобнаго же соединенія съ бѣлкомъ фосфорной (и молочной) кислоты, а также свободныхъ фосфорной и угольной кислоты;* 2) *кислоты эти должны быть вполнѣ диссоціированы на составляющіе ихъ іоны, или же внутри живыхъ тканей должно быть въ наличности одно изъ указанныхъ выше условій, при которыхъ количество свободныхъ іоновъ водорода, даже въ случаѣ слабой кислоты, будетъ измѣняться прямо пропорціонально количеству всей кислоты, resp. интенсивности метаморфоза въ отводимомъ участкѣ;* 3) *въ виду незначительной разницы въ скорости движенія отрицательныхъ іоновъ трехъ перечисленныхъ выше кислотъ,— угольной, фосфорной и молочной,—электродвигательная сила электрическаго тока, происходящаго при ихъ диффузіи, во всякомъ случаѣ будетъ почти одинакова, и можетъ быть опредѣлена по выведенной выше формулѣ для случая диффузіи одной угольной кислоты (α, стр. 72); если же принять во вниманіе, что въ случаѣ соединенія съ бѣлкомъ скорость отрицательнаго іона должна уменьшиться, быть можетъ весьма значительно, то можно думать, что электродвигательная сила диффузіоннаго тока будетъ приближаться къ величинѣ, опредѣляемой для случая диффузіи однихъ только положительныхъ іоновъ водорода (β, стр. 79), причемъ разница между величинами, опредѣляемыми въ первомъ и во второмъ случаѣ, достигаетъ 25%, и величины, находимыя при дѣйствительномъ измѣреніи, повидимому, ближе подходятъ къ послѣдней формулѣ.*

Эти основныя положенія и примѣнены въ послѣдующихъ главахъ, причемъ, какъ уже было упомянуто, во избѣжаніе повтореній и неясности, я вездѣ выражался такъ, какъ будто дѣло идетъ о чистой гидратной формѣ угольной кислоты CO_3H_2, находящейся въ состояніи полной диссоціаціи.

должна быть около 65—75%, однако слѣдуетъ имѣть въ виду, что самое пропусканіе тока могло способствовать выдѣленію этихъ солей изъ соединенія съ бѣлками; во всякомъ случаѣ условія при этомъ были слишкомъ далеки отъ нормальныхъ условій жизнедѣятельности тканей.

Глава IV.

Токи, наблюдаемые на правильно построенныхъ мышцахъ.

Если взять возможно правильно построенную мышцу лягушки съ параллельнымъ ходомъ волоконъ, напримѣръ портняжную (m. sartorius), и отрѣзать острымъ ножемъ оба ея конца такъ, чтобы плоскость поперечнаго разрѣза была строго перпендикулярна къ оси мышцы, то мы получимъ болѣе или менѣе правильный мышечный цилиндръ или, вѣрнѣе, мясистую ленту, на которомъ, какъ было уже указано въ первой главѣ, можно наблюдать слѣдующія явленія мышечнаго тока: 1) При отведеніи отъ средины продольной поверхности (экватора) и центра поперечнаго разрѣза получается наиболѣе сильный мышечный токъ, достигающій для m. sartorius, въ среднемъ, 0,04 вольта; 2) при отведеніи отъ двухъ точекъ продольной поверхности, расположенныхъ на одинаковыхъ разстояніяхъ отъ экватора, получаются слабые токи (приблизительно около 0,01 V.), сила которыхъ тѣмъ больше, чѣмъ ближе одна изъ отводимыхъ точекъ къ экватору, а другая къ поперечному разрѣзу, и 3) еще болѣе слабые токи получаются при отведеніи отъ двухъ точекъ поперечнаго разрѣза, находящихся на разныхъ разстояніяхъ отъ его центра; въ первыхъ двухъ случаяхъ мѣсто, лежащее ближе къ экватору, оказывается положительнымъ, а во второмъ,—лежащее ближе къ центру—отрицательнымъ, по отношенію къ другому.

По ученію Дю-Буа Реймона всѣ эти токи, какъ уже было упомянуто, разсматриваются какъ петли токовъ, развиваемыя существующими внутри мышечнаго вещества источниками электромоторной силы въ формѣ диполярныхъ молекулъ, и проходящія въ индифферентныхъ влажныхъ проводникахъ, окружающихъ собственно мышечное вещество (sarkolemma, соединительная ткань межмышечныхъ промежутковъ и оболочки, окутывающія поверхность мышцы).

Мы здѣсь разсмотримъ вкратцѣ, какъ слѣдуетъ представлять себѣ, согласно этой теоріи, механизмъ развитія мышечныхъ токовъ при отведеніи отъ разныхъ мѣстъ мышцы съ параллельнымъ ходомъ волоконъ и двумя поперечными сѣченіями на обоихъ концахъ, сдѣланными перпендикулярно мышечной оси [1]).

На фиг. 5 изображена схема такой мышцы, построенная изъ диполярныхъ электродвигательныхъ молекулъ, окруженныхъ индифферентными влажными проводниками. На этой схемѣ изображено прерывистыми линіями распредѣленіе петель токовъ, производимыхъ двумя рядами диполярныхъ молекулъ, прилегающими непосредственно къ поверхности поперечныхъ разрѣзовъ, что же касается всѣхъ остальныхъ молекулъ, находящихся внутри (изображены пунктиромъ), то дѣйствіе ихъ принимается равнымъ нулю, такъ какъ крайнія молекулы каждыхъ двухъ сосѣднихъ периполярныхъ группъ попарно уничтожаютъ другъ друга, будучи обращены одноименными полосами въ противоположныя стороны (напр. α' и β, β' и γ', γ и δ' и т. д.).

Для насъ важно обратить вниманіе только на тѣ петли токовъ, которыя достигаютъ поверхности, и въ каждомъ отдѣль-

[1]) Теорія токовъ на мышцахъ подробно разработана Дю-Буа Реймономъ въ третьей главѣ перваго тома его знаменитыхъ «Untersuchungen», гдѣ на ряду съ теоретическимъ анализомъ приведена масса самыхъ разнообразныхъ опытовъ, подтверждающихъ правильность теоретическихъ построеній и разсужденій петель токовъ и т. п. Здѣсь я старался передать только основную идею этой теоріи, не придерживаясь строго ни послѣдовательнаго порядка въ ходѣ его разсужденій, ни даже сущности его доводовъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ, такъ какъ, съ одной стороны, представлялось бы въ высшей степени труднымъ точно передать на 2—3 страницахъ теорію, которая занимаетъ у автора 200 страницъ, а съ другой—нѣкоторыя вещи, которыхъ здѣсь приходится касаться, въ настоящее время представляются возможнымъ изложить нѣсколько иначе и отчасти проще, чѣмъ это могъ сдѣлать Дю-Буа-Реймонъ 60 лѣтъ тому назадъ. Тѣмъ же принципомъ руководствовался я при изложеніи основныхъ положеній молекулярной теоріи, приводимыхъ въ слѣдующихъ главахъ.

Фиг. 5.

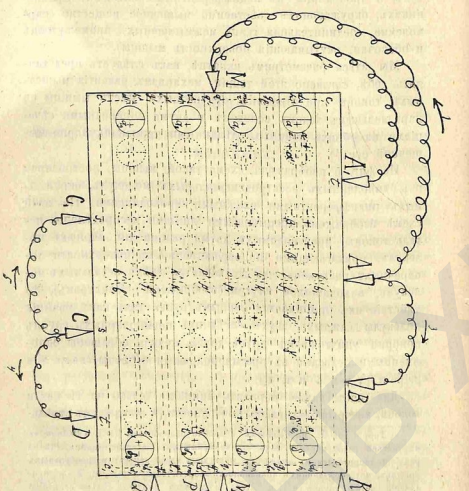


Схема расредѣленія токовъ на мышцѣ, состоящей изъ перпендикулярныхъ группъ диполярныхъ молекулъ, по теоріи Дю-Буа Реймона. Пунктиромъ обозначены недѣятельныя внутреннія молекулы. Прерывистая линія изображаетъ ходъ петель тока отъ крайнихъ диполярныхъ молекулъ, лежащихъ у поперечныхъ разрѣзовъ.

номъ случаѣ только на ту изъ нихъ, которая проходитъ по линіи приложенія отводящихъ токъ электродовъ, такъ какъ отклоненіе гальванометра будетъ закисѣть исключительно отъ величины паденія потенціала между отводящими электродами, т. е. вдоль отрѣзка петли, находящагося между ними, всѣ же остальныя петли, проходящія какъ въ глубинѣ мышцы, такъ и по поверхности ея, для насъ не могутъ имѣть значенія, такъ какъ онѣ не отвѣтвляются въ гальванометръ. На этомъ основаніи на схемѣ и изображено отъ каждой молекулы только по одной петлѣ, идущей по поверхности мышцы [1].

Положимъ, напримѣръ, что отведеніе совершается отъ точки A, лежащей на мышечномъ экваторѣ, и отъ центра поперечнаго разрѣза M. Разсмотримъ ходъ петли $a\,b\,c\,d$, происходящей отъ молекулы α. Выходя изъ положительной поверхности этой молекулы у точки a, она направляется къ срединѣ мышцы (экватору), гдѣ встрѣчается съ подобной же петлей, направляющейся съ противоположной стороны отъ молекулы ∂ (это мѣсто будетъ соотвѣтствать, такимъ образомъ, пограничной плоскости, отдѣляющей обѣ системы петель, происходящихъ отъ молекулъ α и ∂). Здѣсь петля поворачиваетъ обратно, проходя параллельно продольной поверхности мышцы ($b\,c$), и, наконецъ, заворачиваетъ вновь по поперечному разрѣзу ($c\,d$) и входитъ въ молекулу α съ ея отрицательной стороны въ точкѣ d. Подобный же путь пройдетъ каждая изъ петель $e\,f\,g\,h$, $i\,k\,l\,m$, $n\,p\,q\,r$ и т. д., распространяющихся внутри мышцы, съ тою только разницею, что части этихъ петель $f\,g$, $k\,l$, $p\,q$ и т. д. будутъ проходить не въ наружной оболочкѣ мышцы, а въ такихъ же индифферентно проводящихъ межмышечныхъ соединительнотканныхъ образованіяхъ; въ гальванометръ эти части петель проникнуть не могутъ, но части ихъ $g\,h$, $l\,m$, $q\,r$ и т. д. дости-

[1] (Слѣдуя укоренившемуся въ физіологическихъ трактатахъ, обычаю мы будемъ пользоваться терминомъ «петля тока» для обозначенія линіи паденія потенціала внутри нелинейнаго проводника; хотя въ физикѣ это названіе теперь употребляется рѣдко, однако едва-ли оно можетъ вліять на правильность нашихъ разсужденій по существу, зато въ нѣкоторыхъ случаяхъ оно, несомнѣнно, наглядно передаетъ картину явленія. Подъ словомъ же «сила тока» какъ здѣсь, такъ и ниже всюду подразумѣвается электродвигательная сила.

гаютъ поверхности поперечнаго разрѣза, а потому мы ихъ должны принимать въ соображеніе. Однако легко видѣть, что дѣйствіе каждой изъ частей петель, проходящихъ по поверхности поперечнаго разрѣза, попарно уничтожается дѣйствіемъ противоположно идущей петли отъ той же молекулы, такъ, напр., cd уничтожается gh, $lm—qr$ и т. д. Поэтому, въ концѣ концовъ, при отведеніи тока отъ какой-нибудь точки, лежащей на продольной поверхности мышцы и отъ поперечнаго разрѣза, приходится имѣть дѣло только съ тою частью петли (bc), которая проходитъ въ оболочкѣ, покрывающей продольную поверхность мышцы. Такимъ образомъ, если два отводящіе токъ электрода A и M поставлены какъ разъ въ срединѣ продольной поверхности (на экваторѣ) мышцы и въ центрѣ поперечнаго разрѣза, то при этомъ вся проходящая по поверхности мышцы часть петли bc отвѣтвится въ гальванометръ, который такимъ образомъ укажетъ присутствіе тока, идущаго въ немъ по направленію стрѣлки № 1, т. е. отъ экватора къ центру поперечнаго разрѣза. Въ этомъ случаѣ въ гальванометръ попадетъ вся петля bc цѣликомъ, и электромоторная сила получающагося тока будетъ, очевидно, равна паденію потенціала вдоль петли между точками b и c (ибо по закону вѣтвленія токовъ Кирхгоффа паденіе потенціала вдоль проводника между какими-нибудь двумя точками, какъ A и M, равно алгебраической суммѣ всѣхъ частичныхъ измѣненій потенціала между этими двумя точками, слѣдовательно, въ данномъ случаѣ это паденіе потенціала $E=bc+(cd-gh)+(lm-qr)\ \ldots\ =bc$).

Положимъ теперь, что отведеніе происходитъ отъ точекъ A_1 и M. Въ этомъ случаѣ въ гальванометръ попадетъ не вся петля bc, а только часть ея tc, паденіе потенціала по ходу которой, очевидно, составляетъ только часть паденія потенціала на всемъ участкѣ bc, благодаря чему сила тока окажется меньше, чѣмъ при отведеніи отъ экватора, а именно, $E=bc-bt$, и т. д. Однимъ словомъ, чѣмъ ближе отводимая точка находится къ экватору мышцы, тѣмъ большая часть петли bc попадетъ въ гальванометръ, и тѣмъ больше будетъ сила тока.

Если токъ отводится отъ точекъ C и D, находящихся на разныхъ разстояніяхъ отъ экватора, то въ гальванометръ попадетъ соотвѣтственный участокъ петли $a'_1 b'_1 c'_1 d'_1$ и сила тока будетъ соотвѣтствовать длинѣ st_1.

Въ случаѣ, если отводимыя точки C и C_1 находятся по обѣ стороны экватора, то электродвигательная сила тока, очевидно, будетъ равна разности двухъ попадающихъ петель тока ($s_1 b'$ и $s b'_1$), направленіе которыхъ противоположно другъ другу: $E=s_1 b'-s b'_1$; направленіе тока въ гальванометрѣ будетъ совпадать съ направленіемъ болѣе сильной петли, въ данномъ случаѣ $s_1 b'$ (стрѣл. № 5), если же $s_1 b'=s b'_1$, т. е. если оба отводимыя мѣста находятся на равныхъ разстояніяхъ отъ экватора, то тока совсѣмъ не получится, такъ какъ $E=s_1 b'-s b'_1=0$.

Нѣсколько труднѣе объясняются по теоріи Дю-Буа Реймона слабые токи, получающіеся при отведеніи отъ двухъ точекъ поперечнаго разрѣза, находящихся на разныхъ разстояніяхъ отъ центра его (напр. K и M_1, P и Q). Какъ упомянуто уже выше, петли токовъ, достигающія поверхности поперечнаго разрѣза, попарно нейтрализируютъ другъ друга, будучи направлены въ противоположныя стороны, такъ, напр., петли $l_1 m_1$ и $q_1 r_1$ молекулы δ_1, изъ которыхъ первая имѣетъ направленіе къ центру разрѣза, а вторая—отъ центра, уничтожать одна другую, и дѣйствіе ихъ на гальванометръ будетъ равно нулю, тоже самое относительно петель $q'_1 r'_1$ и $l'_1 m'_1$ молекулы δ_1 и т. д. Однако полное равновѣсіе, и, слѣдовательно, отсутствіе всякаго дѣйствія на гальванометръ, можетъ быть достигнуто при томъ только условіи, если существуетъ полное равенство между парами этихъ петель, т. е. если $c_1 d_1=g_1 h_1$, $l_1 m_1=q_1 r_1$ и т. д. Если же по какой-нибудь причинѣ одна петля, напр. $c_1 d_1$, окажется сильнѣе своей пары $g_1 h_1$, то равновѣсіе нарушится, и въ гальванометрѣ сейчасъ же получится токъ въ направленіи болѣе сильной петли, въ данномъ случаѣ, слѣдовательно, въ направленіи cd (стрѣлка № 6). По мнѣнію Дю-Буа Реймона это послѣднее обстоятельство, дѣйствительно, имѣетъ мѣсто, т. е. паденіе потенціала отъ c_1 до d_1 на самомъ дѣлѣ больше противоположнаго ему паде-

нія потенціала отъ g_1 до h_1, вслѣдствіе чего при отведеніи отъ центра и периферіи поперечнаго разрѣза мышцы и получается токъ, направленный въ гальванометрѣ отъ периферіи къ центру.

Чтобы объяснить это явленіе, прослѣдимъ паденіе потенціала вдоль всего пути петель $a_1b_1c_1d_1$ и $e_1f_1g_1h_1$, причемъ для наглядности допустимъ, что электродвигательная сила молекулы δ равна 1 вольту, сопротивленіе вдоль части пройденаго петлею пути a_1b_1 равно, положимъ, 2 омамъ, части b_1c_1—3 омамъ, и части c_1d_1—1 ому. Такъ какъ по закону Ома паденіе потенціала на каждомъ участкѣ пути тока пропорціонально сопротивленію на этомъ участкѣ, то, слѣдовательно, полное паденіе потенціала по ходу петли $a_1b_1c_1d_1$, равное 1 вольту, распредѣлится такимъ образомъ, что $^1/_6$ вольта придется на участокъ c_1d_1, $^3/_6 = ^1/_2$ вольта на участокъ b_1c_1 и $^2/_6 = ^1/_3$ вольта на участокъ a_1b_1. Если бы распредѣленіе сопротивленія по ходу петли $e_1f_1g_1h_1$ было такое же самое, какъ и по ходу $a_1b_1c_1d_1$, то очевидно, что на участокъ g_1h_1 пришлось бы тоже $^1/_6$ вольта, и, слѣдовательно, существовало бы полное равновѣсіе дѣйствія на гальванометръ петель c_1d_1 и g_1h_1; однако легко убѣдиться, что распредѣленіе сопротивленія вдоль петли $e_1f_1g_1h_1$ будетъ нѣсколько иное, чѣмъ по ходу $a_1b_1c_1d_1$, вслѣдствіе чего электромоторная сила g_1h_1 будетъ нѣсколько менѣе c_1d_1. Въ самомъ дѣлѣ, зная строеніе мышцы, мы должны допустить, что сопротивленіе сравнительно толстаго слоя оболочекъ, покрывающихъ мышцу по ея наружной поверхности, гдѣ проходитъ петля b_1c_1, по крайней мѣрѣ въ нѣсколько разъ слабѣе сопротивленія тонкихъ соединительно-тканныхъ образованій, находящихся между пучками мышечныхъ волоконъ, по которымъ проходитъ петля f_1g_1; что же касается путей, проходимыхъ петлями $a_1b_1c_1d_1$ и $e_1f_1g_1h_1$ внутри самаго мышечнаго волокна (участки a_1b_1 и e_1f_1) и въ индифферентно проводящемъ слоѣ уже отмершаго мышечнаго вещества на поверхности поперечнаго разрѣза (участки c_1d_1 и g_1h_1), то сопротивленіе здѣсь слѣдуетъ принять одинаковымъ для той и другой петли. Допустимъ, такимъ образомъ, что сопротивленіе на участкѣ e_1f_1 равно 2 омамъ и на участкѣ g_1h_1—1 ому, т. е. такое же, какъ и на участкахъ a_1b_1 и c_1d_1, а на участкѣ f_1g_1—

6 омамъ, т. е. вдвое больше, чѣмъ на соотвѣтствующемъ участкѣ b_1c_1; тогда полное паденіе потенціала по ходу петли $e_1f_1g_1h_1$, равное по предположенію 1 вольту, распредѣлится такимъ образомъ: на участокъ g_1h_1 придется $^1/_9$ вольта, на участокъ e_1f_1 — $^2/_9$ вольта и на f_1g_1 — $^6/_9 = ^2/_3$ вольта. Такимъ образомъ, въ концѣ концовъ получится: $c_1d_1 = ^1/_6$ вольта, а $g_1h_1 = ^1/_9$ вольта, слѣдовательно равновѣсія не будетъ, и при отведеніи въ гальванометрѣ появится токъ, электромоторная сила котораго: $E = ^1/_6\ V - ^1/_9\ V = ^2/_9$ Volt.

Совершенно то же самое будетъ происходить съ петлями тока, идущими отъ всякой другой молекулы, находящейся на периферіи поперечнаго разрѣза, напримѣръ молекула δ_2; здѣсь тоже электродвигательная сила петли $c'_1d'_1$ будетъ превосходить $g'_1h'_1$, слѣдствіемъ чего при отведеніи въ гальванометръ долженъ появиться токъ въ направленіи болѣе сильной петли $c'_1d'_1$, т. е. опять таки отъ периферіи къ центру поперечнаго разрѣза.

Что касается петель токовъ отъ молекулъ, лежащихъ ближе къ центру (δ_1, δ_2 и т. д.), то здѣсь должно существовать полное равновѣсіе между вѣтвями l, m_1 и q_1r_1, $q'_1r'_1$ и $l'_1m'_1$ и т. д., достигающими поверхности поперечнаго разрѣза, такъ какъ условія для прохожденія частей петель $i_1k_1l_1m_1$ и $n_1p_1q_1r_1$, $n'_1p'_1q'_1r'_1$ и $i'_1k'_1l'_1m'_1$ и т. д., очевидно, совершенно одинаковы въ симметричныхъ участкахъ, расположенныхъ какъ внутри самаго мышечнаго вещества (i_1k_1 и n_1p_1, $n'_1p'_1$ и $i'_1k'_1$), такъ и въ соединительнотканныхъ межмышечныхъ прослойкахъ (k_1l_1 и p_1q_1, $p'_1q'_1$ и $k'_1l'_1$); такъ что дѣйствіе ихъ на гальванометръ равно нулю. Однако, само собою разумѣется, что если приставить электроды (P и Q) такъ, какъ это изображено на рисункѣ, т. е. отступя отъ периферіи, то въ гальванометрѣ тоже появляется токъ, хотя и болѣе слабый, въ прежнемъ направленіи—отъ периферіи къ центру (стрѣл. № 7), несмотря на то, что петля $c'_1d'_1$, теперь находится внѣ района отводящихъ токъ электродовъ; объясняется это явленіе просто тѣмъ обстоятельствомъ, что въ дѣйствительности паденіе потенціала, обусловливаемое внутри непрерывнаго влажнаго проводника, какимъ въ данномъ случаѣ является мышца, каждымъ отдѣльнымъ источникомъ элек-

тромоторной силы—молекулой, не ограничивается однимъ только ея райономъ, а оказываетъ извѣстное вліяніе во всѣхъ точкахъ проводника, или, другими словами, что петли $c'_1 d'_1$ и $g'_1 h'_1$ входятъ не цѣликомъ въ молекулу δ_2, а нѣкоторыя части той и другой отвѣтвляются въ гальванометръ.

Такъ объясняются съ точки зрѣнія молекулярной теоріи Дю-Буа Реймона явленія электрическаго тока на покоящейся мышцѣ, съ искусственнымъ поперечнымъ разрѣзомъ. Выше (гл. I) было уже упомянуто, какъ могутъ быть объяснены на основаніи этой теоріи колебанія въ силѣ таковъ, наблюдающіяся при дѣятельномъ состояніи мышцы (отрицательное колебаніе), а также отсутствіе тока въ совершенно неповрежденной покойной мышцѣ (парэлектрономія).

Что касается до объясненія, даваемаго этимъ явленіямъ альтераціонной теоріей Германа, то этотъ послѣдній, посколько дѣло касается выясненія механизма обнаруженія тока въ гальванометрѣ, въ сущности говоря, не прибавилъ ничего новаго къ теоріи Дю-Буа Реймона, за исключеніемъ только того, что на мѣсто понятія электродвигательной молекулы онъ вводитъ понятіе демаркаціонной плоскости отмиранія, находящейся на концѣ каждаго поперечно перерѣзаннаго мышечнаго волокна. Распредѣленіе петель токовъ въ мышечномъ цилиндрѣ, очевидно, будетъ совершенно одинаково, находится ли на концѣ каждаго перерѣзаннаго волокна источникъ электродвигательной силы въ формѣ электромоторной молекулы Дю-Буа Реймона, или демаркаціонной плоскости Германа. Такимъ образомъ, объясненіе всѣхъ деталей токовъ продольной поверхности и искусственнаго поперечнаго сѣченія по теоріи Германа остается такое же, какъ у Дю-Буа Реймона. Только относительно первыхъ, т. е. токовъ, получающихся при отведеніи отъ двухъ точекъ продольной поверхности, находящихся на неодинаковыхъ разстояніяхъ отъ поперечнаго разрѣза, Германъ высказываетъ предположеніе, что, быть можетъ, они зависятъ отъ того обстоятельства, что «вредящее вліяніе поперечнаго сѣченія далеко заходитъ въ мышечное волокно, такъ что вслѣдствіе этого получается цѣлый рядъ поперечныхъ слоевъ, которые всѣ находятся въ различныхъ періодахъ умиранія, и

вслѣдствіе этого дѣйствуютъ другъ на друга электромоторно» [1]). Другими словами, что всякая точка, лежащая ближе къ поперечному сѣченію, потому относится отрицательно къ точкѣ, лежащей дальше отъ него (т. е. ближе къ экватору), что она находится въ состояніи большаго раздраженія. Какъ увидимъ ниже, это предположеніе имѣетъ основаніе.

Теперь намъ предстоитъ заняться теоретическимъ разборомъ описанныхъ явленій, какъ они должны представляться съ точки зрѣнія развиваемой нами диффузіонной теоріи происхожденія электрическихъ токовъ живыхъ тканей.

На основаніи соображеній, подробно разобранныхъ въ предыдущей главѣ, мы остановились на томъ предположеніи, что причина возникновенія мышечныхъ токовъ должна быть приписана неодинаковой концентраціи угольной кислоты CO_2H_2 въ двухъ отводимыхъ въ гальванометръ мѣстахъ мышцы. Получающіеся при диссоціаціи CO_2H_2 іоны $\overline{CO}_3$ и $\overset{++}{H}H$, устремляясь отъ мѣста, гдѣ скопленіе ихъ болѣе значительно, къ мѣсту съ меньшимъ ихъ скопленіемъ, станутъ переносить съ собой находящееся на нихъ положительное и отрицательное электричество, и такъ какъ положительные іоны $\overset{+}{H}$ будутъ дифундировать съ большей быстротой, чѣмъ отрицательный $\overline{CO}_3$, то при этомъ долженъ появиться электрическій токъ, имѣющій то же направленіе, въ какомъ совершается диффузія, т. е. идущій въ самой мышцѣ отъ мѣста съ большей концентраціей угольной кислоты къ мѣсту, гдѣ концентрація ея меньше.

Если бы при этомъ какимъ бы то ни было образомъ представилось возможнымъ опредѣлить относительную концентрацію CO_2H_2 въ области того и другого изъ отводящихъ токъ электродовъ, то можно было бы вычислить и электромоторную силу этого концентраціоннаго тока по формулѣ: $E = 0{,}043 \log p/p_1$, гдѣ p/p_1 есть отношеніе осмотическихъ давленій положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ, на которые распадается частица CO_2H_2.

Въ предыдущей главѣ подробно были указаны основанія,

[1]) Германъ. Руковод. физіол. Т. I, ч. I, стр. 353.

по которымъ мы имѣемъ право считать, что осмотическое давленіе іоновъ $\overline{CO_3}$ и $\overset{+}{H}$, находящихся въ растворѣ въ данномъ участкѣ мышцы, опредѣляется общимъ количествомъ угольной кислоты, вырабатываемой въ этомъ мѣстѣ. Такимъ образомъ, задача вычисленія электродвигательной силы мышечнаго тока сводится въ концѣ концовъ къ вопросу, насколько точно можно опредѣлить отношеніе между количествомъ угольной кислоты, вырабатываемой въ одинъ и тотъ же промежутокъ времени въ обоихъ отводимыхъ мѣстахъ, предполагая при этомъ, что условія для распредѣленія ея въ мышечномъ веществѣ, а также для выдѣленія наружу,—если такое выдѣленіе вообще можетъ имѣть мѣсто въ данномъ случаѣ,—въ томъ и въ другомъ мѣстѣ совершенно одинаковы.

Что касается до количества угольной кислоты, производимой мышцей при различныхъ условіяхъ ея дѣятельнаго состоянія, то вопросъ объ этомъ, хотя и можетъ считаться окончательно рѣшеннымъ въ томъ смыслѣ, что количество вырабатываемой CO_2 стоитъ въ непосредственной связи со степенью дѣятельнаго состоянія мышечнаго вещества, гевр. съ интенсивностью испытываемаго мышцей, или ея отдѣльнымъ участкомъ, раздраженія, однако мы еще очень далеки отъ возможности располагать точными цифровыми данными для всякаго подобнаго случая. Поэтому мы ограничимъ здѣсь нашу задачу рѣшеніемъ вопроса въ наиболѣе легкой его формѣ, а именно только для крайнихъ границъ—наибольшей и наименьшей интенсивности метаморфоза мышцы: во сколько разъ больше углекислоты вырабатывается въ мышцѣ при максимальной ея дѣятельности, гевр. максиминальномъ ея раздраженіи, по сравненію съ количествомъ ея, вырабатываемымъ при наиболѣе покойномъ состояніи мускула, какое только можно достигнуть при условіяхъ нашихъ опытовъ. Но поставленный и въ такой, наиболѣе простой своей формѣ, вопросъ этотъ въ настоящее время далеко еще не можетъ считаться рѣшеннымъ съ достаточною точностью. Наибольшая трудность экспериментовъ въ этомъ направленіи заключается, конечно, въ томъ обстоятельствѣ, что если намъ и удастся тѣмъ или инымъ способомъ привесть мышцу въ такое

состояніе дѣятельности, когда количество выдѣляемой ею углекислоты достигаетъ максимальной величины, то съ другой стороны, мы никогда не можемъ быть гарантированы, что, измѣряя количество CO_2, вырабатываемое той же мышцей въ «покойномъ» состояніи, мы дѣйствительно достигли наибольшей границы покоя, какая только возможна для даннаго случая. Съ другой стороны, при измѣреніяхъ, производимыхъ на вырѣзанныхъ мышцахъ, весьма существенное значеніе слѣдуетъ приписать и тому, разсмотрѣнному въ предыдущей главѣ, обстоятельству, что вырабатываемая во время дѣятельности мышцы углекислота не сейчасъ же выдѣляется, какъ таковая, переходя предварительно черезъ ступень какого-то болѣе сложнаго соединенія, изъ котораго она освобождается потомъ, въ зависимости отъ различныхъ условій, не одинаково быстро. Особенно трудно достигнуть этого при опытахъ на мышцахъ теплокровныхъ животныхъ, относящихся гораздо болѣе чувствительно ко всякаго рода вредящимъ моментамъ. Въ отношеніи выдыхаемой углекислоты E. Смиттъ (E. Smith) нашелъ, что человѣкъ во время усиленной работы выдыхаетъ въ 6 разъ больше углекислоты, чѣмъ въ покоѣ, и въ 10 разъ больше, чѣмъ во время сна [1]).

Для насъ особенно важное значеніе имѣетъ опредѣленіе количества вырабатываемой углекислоты въ лягушечьихъ мышцахъ, такъ какъ только на этихъ послѣднихъ возможно получить сколько-нибудь точные и постоянные результаты при измѣреніи электродвигательной силы токовъ. Однако опыты съ опредѣленіемъ количества угольной кислоты, вырабатываемой этими мускулами при различныхъ условіяхъ ихъ дѣятельности, весьма трудны по той причинѣ, что приходится имѣть дѣло съ вообще сравнительно незначительнымъ количествомъ этого продукта регрессивнаго метаморфоза; причемъ, въ виду невозможности удаленія его изъ толщи вещества мускула путемъ пропусканія сыворотки или дефибринированной крови черезъ сосуды, какъ это дѣлается при опытахъ на мышцахъ болѣе крупныхъ животныхъ, невозможно учесть ту часть угле-

[1]) См. В. Данилевскій. О происхожденіи мускульной силы. 1876. Стр. 51.

кислоты, которая не выдѣлилась наружу. Изъ всѣхъ опытовъ подобнаго рода (ср. выше, гл. III, стр. 76) наиболѣе удовлетворяющимъ нашей цѣли кажется опытъ Германа съ параллельнымъ опредѣленіемъ количества углекислоты, вырабатываемой вырѣзанными лягушечьими мышцами въ состояніи покоя и при тетанизированіи индукціоннымъ токомъ. Германъ нашелъ при этомъ, что въ продолженіе опыта, длившагося 3 час. 10 мин., тетанизированныя мышцы выдѣляли въ 6,52 раза больше углекислоты, чѣмъ равное имъ по вѣсу количество покойныхъ мышцъ [1]). Столь значительная продолжительность опыта гарантируетъ, до нѣкоторой степени, отъ возможности задержки въ данномъ случаѣ углекислоты внутри мышцы, вслѣдствіе описанныхъ выше причинъ; такъ что цифры Германа можно считать наиболѣе приближающимися къ дѣйствительности.

Такимъ образомъ слѣдуетъ допустить, что протоплазма вырѣзанной мышцы лягушки, будучи доведена до высшей степени раздраженія и дѣятельности, продуцируетъ приблизительно въ $6^1/_2$ разъ больше угольной кислоты, чѣмъ находясь въ нераздраженномъ состояніи. Если при этомъ условія для распредѣленія образующейся CO_3H_2 въ мышечномъ веществѣ и для выдѣленія соотвѣтственной части ея наружу въ томъ и другомъ случаѣ совершенно одинаковы, то мы имѣемъ право заключить, что и концентрація или осмотическое давленіе долженствующихъ появиться при этомъ въ растворѣ свободныхъ іоновъ $\overset{-}{C}O_3$ и $\overset{+}{H}$ будетъ въ первомъ случаѣ тоже въ $6^1/_2$ разъ больше, чѣмъ во второмъ. Такимъ образомъ, если одинъ участокъ какой-нибудь мышцы лягушки находится въ состояніи высшаго раздраженія въ то время, какъ остальная часть остается въ покойномъ состояніи, и если при томъ будетъ доказано, что условія для распредѣленія и выдѣленія углекислоты въ томъ и другомъ мѣстѣ совершенно одинаковы, то осмотическое давленіе іоновъ CO_3H_2 въ раздраженномъ мѣстѣ должно быть принято въ $6^1/_2$ разъ больше, чѣмъ въ покойномъ, а потому, если приставить электроды гальванометра такъ, чтобы одинъ касался раздраженаго мѣста, а другой находился на какой-нибудь точкѣ, пребывающей въ состояніи покоя, то электродвигательная сила появляющагося при этомъ концентраціоннаго тока можетъ быть вычислена напередъ по формулѣ (α, гл. III): $E = 0{,}043 \log p/p_1$, гдѣ отношеніе $p/p_1 = 6{,}5$, откуда:

$$E = 0{,}043 \log 6{,}5 = 0{,}043 . 0{,}81 = 0{,}035 \text{ вольта.}$$

Для того, чтобы провѣрить справедливость этого вывода на опытѣ, необходимо, слѣдовательно, обставить его такимъ образомъ, чтобы, во первыхъ, достигнуть максимальнаго раздраженія одного какого-либо участка мышцы, въ то время какъ остальная часть ея должна пребывать въ насколько возможно совершенномъ покоѣ, и во-вторыхъ, чтобы условія для распредѣленія и выдѣленія вырабатываемой углекислоты въ этихъ двухъ частяхъ мышцы, къ которымъ прикасаются отводящіе токъ электроды, были по возможности одинаковы.

Такимъ требованіямъ удовлетворяетъ въ достаточной степени опытъ съ отведеніемъ тока отъ средины продольной поверхности и центра поперечнаго разрѣза какой-нибудь правильно построенной мышцы лягушки. Въ самомъ дѣлѣ, если мы возьмемъ какую-нибудь мышцу лягушки съ параллельнымъ ходомъ волоконъ, напр. портняжную (m. sartorius), и осторожно сдѣлаемъ при помощи остраго ножа на томъ и другомъ концѣ ея поперечные разрѣзы, перпендикулярные ходу мышечныхъ волоконъ, и затѣмъ отведемъ въ гальванометръ какую-нибудь точку мышечнаго экватора и центра поперечнаго разрѣза, то въ значительной мѣрѣ достигнемъ при этомъ сочетанія требуемыхъ нами условій. А именно, поперечно перерѣзанные концы мышечныхъ волоконъ, находясь въ наивысшей степени раздраженія, будутъ продуцировать максимальное количество углекислоты, которая отчасти будетъ выдѣляться наружу черезъ поверхность поперечнаго разрѣза, а отчасти, растворяясь въ жидкихъ частяхъ мышечной субстанціи, будетъ диффундировать въ видѣ іоновъ $\overset{-}{C}O_3$ и $\overset{+}{H}$ въ толщу мускула, причемъ переходъ іоновъ въ глубину ткани будетъ совершаться при этомъ съ наибольшею легкостью, по той причинѣ, что іоны, скопившись на поверхности, ограни-

[1]) L. Hermann. Untersuchungen über den Stoffwechsel der Muskeln ausgehend vom Gaswechsel derselben. Berlin. 1867. SS. 125—126, опытъ 27.

чивающей поперечный разрѣзъ, и отталкиваясь другъ отъ друга, должны по законамъ механики устремиться въ направленіи нормали къ этой поверхности, т. е. въ случаѣ плоской поверхности—въ направленіи перпендикуляра къ ней, который при отведеніи отъ центра поперечнаго разрѣза совпадетъ съ осью мышцы, такъ что никакихъ препятствій для ихъ движенія по этому направленію не можетъ представиться. Съ другой стороны, у мѣста приложенія другого электрода, въ срединѣ продольной неповрежденной поверхности, мышечное вещество будетъ находиться въ состояніи наибольшаго возможнаго при данныхъ условіяхъ покоя, медленно умирая безъ всякаго искусственнаго внѣшняго раздраженія; условія же для выдѣленія образующейся углекислоты наружу и для диффузіи ея внутрь мышцы можно признать и здѣсь, и тамъ одинаковыми, такъ какъ въ обоихъ случаяхъ поступательному движенію іоновъ въ направленіи, перпендикулярномъ отводимой поверхности, не представляется никакого препятствія.

Такимъ образомъ, мы имѣемъ право заключить, что здѣсь, какъ и въ опытѣ Германа, количество образующейся углекислоты въ каждомъ элементѣ мышечной субстанціи на поверхности поперечнаго разрѣза въ 6,5 раза больше, чѣмъ въ соотвѣтствующемъ элементѣ, находящемся на продольной поверхности, а такъ какъ, съ другой стороны, условія для распредѣленія и выдѣленія наружу CO_2 въ томъ и другомъ случаѣ могутъ быть признаны одинаковыми, то отсюда слѣдуетъ, что осмотическое давленіе, находящихся въ растворѣ свободныхъ іоновъ $\overline{CO_3}$ и $\overset{+}{H}$ будетъ тоже въ первомъ мѣстѣ въ $6^1/_2$ разъ больше, чѣмъ во второмъ. Поэтому разность потенціала при отведеніи отъ центра поперечнаго разрѣза и экватора портняжной мышцы (m. sartorius) должна выразиться вышеприведенной величиной: $E = 0{,}43 \log 6{,}5 = 0{,}035$ Volt.

Въ дѣйствительности при указанномъ отведеніи по моимъ наблюденіямъ получается въ среднемъ $E = 0{,}045$ вольта. Германъ и другіе наблюдатели указываютъ приблизительно такія же величины.

Въ опубликованныхъ нѣсколько лѣтъ тому назадъ своихъ изслѣдованіяхъ по этому вопросу (Ж. Р. Ф. Х. О. 1896 г. №№ 5 и 7, Невр. Вѣст. 1898 г., т. VI, вып. I) я далъ для силы электрическаго тока при отведеніи отъ экватора и поверхности поперечнаго разрѣза величину 0,042 вольта. Измѣренія, на которыхъ основана эта величина производились довольно спѣшно и въ ограниченномъ числѣ; впослѣдствіи же я убѣдился, что при тщательномъ и внимательномъ производствѣ опыта, причемъ принимаются всѣ мѣры, съ цѣлью избѣжать поврежденій наружной продольной поверхности мышцы, сила тока нерѣдко достигаетъ 0,05 *V.* (на что указывалось и въ вышеприведенныхъ работахъ), и даже въ нѣкоторыхъ случаяхъ можетъ превосходить эту величину, хотя здѣсь является уже сомнѣніе, не представляется ли это результатомъ побочныхъ причинъ, напр., неравномѣрнаго распредѣленія образующейся CO_2H_2 внутри мышечнаго вещества, вслѣдствіе неравномѣрнаго давленія электродовъ и т. д. (см. ниже, гл. V).

Что касается до техники производства опытовъ, то она заключалась въ слѣдующемъ: бралась свѣжая лягушка, однимъ ударомъ ножницъ отсѣкалась у ней голова и немедленно тщательно разрушался длинной иглой спинной мозгъ съ тѣмъ, чтобы по возможности устранить судорожныя движенія, которыя могли повлечь усиленное образованіе CO_2 до начала опыта и послѣдующее за тѣмъ истощеніе мышцы. Послѣ этого лягушка ополаскивалась нѣсколько разъ въ холодной водѣ и тщательно осушивалась полотенцемъ, во избѣжаніе затеканія разжиженнаго секрета кожныхъ железъ подъ кожу во время ея снинанія. Кожа снималась съ обѣихъ нижнихъ конечностей сразу цѣликомъ послѣ циркулярнаго разрѣза вокругъ спины и брюшка. Препаратъ укрѣплялся на пробковой дощечкѣ брюхомъ вверхъ и портняжная мышца вырѣзалась такимъ образомъ, что пинцетомъ захватывалось мѣсто прикрѣпленія ея внизу, отрѣзалось маленькими ножницами, и затѣмъ мышца отдѣлялась простымъ потягиваніемъ вверхъ, послѣ чего отрѣзалась у верхняго прикрѣпленія. Операція вырѣзыванія приводитъ обыкновенно мускулъ въ состояніе спльнаго тоническаго сокращенія, которое длится около минуты; когда мышца успокоится, она кладется на кусокъ бумаги или на картонъ, расправляется, и затѣмъ оба конца ея отрѣзаются перпенди-

кулярно оси мускула однимъ ударомъ ножа или ножницъ вмѣстѣ съ картономъ. Если при этомъ опять наступаютъ явленія столбняка, то даемъ ей успокоиться, а затѣмъ опять тщательно расправляемъ и отводимъ токъ, прикладывая одинъ неполяризующійся электродъ къ центру того или другого поперечнаго разрѣза, а другой—къ срединѣ продольной поверхности. Можно дѣлать разрѣзъ также острымъ скальпелемъ; но я никогда не примѣнялъ «термическаго разрѣза», столь усердно рекомендуемаго Германомъ и получаемаго путемъ погруженія конца мускула въ горячій физіологическій растворъ, такъ какъ никакого ни теоретическаго, ни практическаго преимущества онъ не представляетъ: то обстоятельство, что при нанесеніи поперечнаго сѣченія посредствомъ ножа или ножницъ, будто бы, больше размозжается ткань, чѣмъ при термическомъ разрѣзѣ, — дѣлу вредить не можетъ, такъ какъ намъ вѣдь и нужно получить максимальное раздраженіе; зато термическій разрѣзъ, образуя на поверхности болѣе или менѣе толстый слой совершенно отмершаго вещества, создаетъ здѣсь совершенно особыя условія для выдѣленія CO_2 наружу, что, конечно, должно оказать вліяніе на силу тока, кромѣ того при этомъ слѣдуетъ ожидать неравномѣрнаго отмиранія концовъ волоконъ, изъ коихъ болѣе поверхностные окоченѣютъ гораздо раньше, чѣмъ внутренніе, благодаря чему поверхность отмиранія будетъ представлять не плоскость, а поверхность конуса, что можетъ весьма значительно вліять на силу тока въ смыслѣ ея увеличенія (см. ниже, гл. VI). Измѣреніе электродвигательной силы производились обычнымъ способомъ компенсаціи, причемъ эталономъ служилъ элементъ Даніеля (Cu, $CuSO_4$—насыщ. раств. Na Cl [20°/₀]; Zn), электромоторная сила котораго при комнатной температурѣ равна 1,06 V., полученныя величины перечислялись на вольты.

Такія измѣренія можно производить и на другихъ мышцахъ лягушки, какъ, напримѣръ, m. rectus internus. Однако всѣ онѣ уступаютъ портяжной въ томъ отношеніи, что ихъ гораздо труднѣе изолировать безъ поврежденій поверхности; кромѣ того строеніе ихъ и ходъ волоконъ не такъ правильны,

вслѣдствіе чего являются въ наличности условія, препятствующія однообразному распредѣленію образующейся угольной кислоты въ отводимыхъ мѣстахъ.

Такимъ образомъ дѣйствительно наблюдаемая величина превышаетъ довольно значительно вычисленную теоретически. Для объясненія этого явленія представляются, на мой взглядъ, наиболѣе вѣроятными слѣдующія предположенія. Во-первыхъ, легко можно допустить, что раздражающее дѣйствіе поперечнаго разрѣза производитъ эффектъ, гораздо болѣе интенсивный, чѣмъ простая тетанизація мышцы, которая производилась въ приведенномъ выше опытѣ Германа, и что потому отношеніе между количествомъ углекислоты, вырабатываемой на поверхности свѣжаго поперечнаго разрѣза, въ дѣйствительности превосходитъ болѣе, чѣмъ въ $6^1/_2$ разъ количество ея, вырабатываемое на неповрежденной продольной поверхности, находящейся въ состояніи покоя. Если, напр., допустить, что отношеніе между этими величинами, resp. осмотическими давленіями: $P/p_1 = 10$, то величина электродвигательной силы тока опредѣлится: $E = 0{,}043 \log 10 = 0{,}043$ вольта. Во-вторыхъ, если на основаніи соображеній, изложенныхъ въ предыдущей главѣ, допустить, что при диффузіи образующейся при дѣятельности угольной кислоты CO_3H_2 вліяніе на силу тока отрицательныхъ іоновъ CO_3 будетъ ослаблено въ большей или меньшей степени, благодаря присутствію бѣлковъ и т. д., то для вычисленія силы тока слѣдовало бы воспользоваться формулой (β, гл. III): $E = 0{,}058 \log P/p_1$, согласно которой для E опредѣлилась бы величина: $E = 0{,}058 \log 6{,}5 = 0{,}047$ Volt., т. е. почти такая, какая наблюдается въ дѣйствительности. Наконецъ, можно объяснить неполное совпаденіе результатовъ вычисленія и опыта еще тѣмъ обстоятельствомъ, что условія для распредѣленія и выдѣленія наружу угольной кислоты все-таки не вполнѣ одинаковы въ обоихъ отводимыхъ мѣстахъ, причемъ слѣдуетъ допустить, что благодаря этому неравенству выдѣленіе углекислоты наружу на продольной поверхности больше, а, слѣдовательно, осмотическое давленіе въ области положительнаго электрода (экваторъ) уменьшается больше, чѣмъ на поперечномъ разрѣзѣ,

гдѣ выдѣленію CO_2 препятствуетъ болѣе или менѣе толстый слой отмершаго мышечнаго вещества. Которое изъ этихъ предположеній заслуживаетъ предпочтенія, сказать довольно трудно. Наиболѣе вѣроятнымъ казалось бы мнѣ допустить, что здѣсь играютъ важнѣйшую роль, первая и вторая причины вмѣстѣ, причемъ однако рѣшить, какая часть приходится на долю той, и какая на долю другой, весьма затруднительно [1]).

Теперь намъ еще остается разсмотрѣть, какъ могутъ быть объяснены съ точки зрѣнія нашей теоріи тѣ болѣе слабые токи, которые наблюдаются при отведеніи отъ двухъ точекъ поперечнаго разрѣза, находящихся на неодинаковыхъ разстоя-

[1]) Приведенное выше вычисленіе электродвигательной силы демаркаціоннаго тока сдѣлано на основаніи единственнаго только имѣющагося количественъ выдѣляемой углекислоты, произведеннаго Германомъ. Поэтому допущенный выше столь детальный анализъ полученной при этомъ величины можетъ показаться совершенно лишнимъ и даже неумѣстнымъ. Однако я думаю, что при проведеніи всякой новой теоріи, какова въ данномъ случаѣ является развиваемая нами концентраціонная теорія происхожденія токовъ живыхъ тканей,—подробный анализъ всѣхъ фактовъ, хотя-бы съ точки зрѣнія простой возможности, никогда не можетъ быть излишнимъ. Въ подобныхъ случаяхъ всегда лучше переговорить, чѣмъ недоговорить, оставляя явленіе совсѣмъ безъ объясненія и тѣмъ давая слишкомъ широкій просторъ для возраженій. Подобнымъ же принципомъ руководствовался я и въ послѣдующемъ изложеніи, гдѣ тоже нерѣдко приходилось сталкиваться съ явленіями, цифровыя данныя относительно которыхъ еще очень скудны или непостоянны. Сказанное относится также и къ приводимому въ слѣдующихъ двухъ главахъ числовому матеріалу, касающемуся токовъ покоенія и токовъ консообразныхъ мышцъ.

Что касается, въ частности, до вышеприведенной величины количества углекислоты, вырабатываемой при максимальномъ раздраженіи мышцы по сравненію съ покойнымъ состояніемъ, найденной Германомъ ($6^1/_2$). то хотя другихъ произведенныхъ при такой же обстановкѣ опытовъ въ литературѣ не имѣется, однако цифра эта, вѣроятно, близка къ дѣйствительности. Такъ какъ, съ одной стороны, опыты на теплокровныхъ, у которыхъ обмѣнъ вообще болѣе энергиченъ, даютъ нѣсколько высшія цифры (10 у человѣка), а съ другой стороны—при нѣкоторыхъ изъ упоминавшихся въ предыдущей главѣ опытахъ Тиссо и Флетчера и др. съ газообмѣномъ лягушечьихъ мышцъ, получались нѣсколько меньшія величины (4—5), причемъ столь низкія цифры объясняются слабостью привѣвавшагося раздраженія или неполнымъ выдѣленіемъ CO_2 вслѣдствіе кратковременности опытовъ (которые ставились совмѣстно съ другой цѣлью).

ніяхъ отъ его центра, и на продольной поверхности, при неодинаковомъ отстояніи отъ экватора.

Что касается токовъ поперечнаго разрѣза, то для объясненія ихъ мы можемъ воспользоваться тѣмъ объясненіемъ, которое было дано Дю-Буа Реймономъ, а именно, что токи эти обязаны своимъ происхожденіемъ неравномѣрному сопротивленію, встрѣчаемому петлями тока, проходящими въ индифферентно проводящемъ слоѣ соединительнотканныхъ образованій, покрывающихъ мышцу снаружи, и подобными же индифферентно проводящими соединительнотканными прослойками, заложенными между отдѣльными мышечными волокнами внутри мускула (см. выше).

Однако, я думаю, что здѣсь можно представить себѣ дѣло и иначе. Вырабатываемая на перерѣзанномъ концѣ каждаго мышечнаго волокна угольная кислота, очевидно, не будетъ цѣликомъ задерживаться въ этомъ мѣстѣ, часть ея перейдетъ въ окружающую соединительную ткань и въ жидкость межклѣточныхъ щелей, лежащихъ непосредственно въ сосѣдствѣ съ раздраженнымъ концомъ волокна; съ другой стороны, не одни только перерѣзанные концы мышечныхъ волоконецъ будутъ продуцировать угольную кислоту,—попавшія подъ ножъ отростки клѣтокъ и т. п. образованій соединительнотканнаго характера, составляющихъ межволоконцевыя прослойки, тоже будутъ производить извѣстное количество CO_2, и, такимъ образомъ, вся поверхность поперечнаго разрѣза можетъ быть разсматриваема, какъ очагъ образованія угольной кислоты, молекулы которой (resp. іоны) будутъ покрывать ее въ видѣ болѣе или менѣе равномѣрнаго слоя. Однако плотность этого слоя, или иначе осмотическое давленіе іоновъ, будетъ не вездѣ одинаково. Мы имѣемъ полное основаніе думать, что у периферіи поперечнаго разрѣза оно будетъ меньше, чѣмъ въ центрѣ, по двумъ причинамъ: во-первыхъ, по периферіи происходитъ болѣе значительная отдача углекислоты наружу, такъ какъ выдѣленіе здѣсь происходитъ не только черезъ поверхность поперечнаго разрѣза, но и черезъ прилежащую къ периферіи часть продольной неповрежденной поверхности мышцы; во-вторыхъ, у периферіи мышечныя волокна распо-

ложены рѣже, на болѣе значительныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга, чѣмъ въ центрѣ, т. е. по самой оси мышцы, такъ какъ соединительнотканная основа по периферіи развита гораздо больше,—а такъ какъ мышечная ткань способна продуцировать угольную кислоту въ гораздо большемъ количествѣ, чѣмъ соединительная, то и это обстоятельство въ свою очередь должно способствовать тому, что концентрація CO_2H_2 у периферіи поперечнаго разрѣза будетъ меньше. Такимъ образомъ, и помимо причины, указанной Дю-Буа Реймономъ, можно объяснить, почему при отведеніи отъ точки, лежащей ближе къ центру разрѣза, гдѣ осмотическое давленіе больше, и расположенной у периферіи, гдѣ это давленіе меньше, получается токъ по направленію (въ самой мышцѣ) отъ центра къ периферіи.

Что касается слабыхъ токовъ въ продольномъ направленіи, получающихся при отведеніи отъ двухъ точекъ, расположенныхъ на разныхъ разстояніяхъ отъ мышечнаго экватора, то они, какъ было объяснено выше, разсматриваются Дю-Буа Реймономъ, какъ результатъ отвѣтвленія въ гальванометръ болѣе или менѣе длинной части петли тока, проходящей по наружнымъ мышечнымъ оболочкамъ въ направленіи отъ экватора обратно къ молекулѣ, находящейся на поверхности поперечнаго разрѣза. Такое же объясненіе можетъ быть дано этимъ токамъ съ точки зрѣнія демаркаціонной теоріи Германа, а также и всякой другой теоріи, которая видитъ источникъ электромоторной силы въ измѣненіяхъ, происходящихъ на концѣ каждаго мышечнаго волокна вслѣдствіе перерѣзки.

Однако здѣсь мы наталкиваемся на очень большое затрудненіе. Допуская такое объясненіе токовъ продольной поверхности мускула, необходимо въ то же время допустить, что сила электродвигательнаго источника, находящагося на концѣ волокна, очень велика по сравненію съ электромоторною силою тока, получающагося при отведеніи отъ двухъ точекъ продольной поверхности, такъ какъ легко видѣть, что этотъ послѣдній представляетъ только незначительную вѣтвь тока, проходящаго между полюсами молекулы (или какого бы то ни

было другого электродвигательнаго источника), находящейся на концѣ волокна.

По приблизительному разсчету, который здѣсь можно произвесть, выходитъ, что если электродвигательную силу одной молекулы принять равной даже 0,1 вольта, то, принимая діаметръ ея равнымъ 0,05 mm. (поперечникъ мышечнаго волокна), при отведеніи тока, напримѣръ, отъ мышечнаго экватора sartorius'a и отъ точки, лежащей посрединѣ между экваторомъ и поперечнымъ разрѣзомъ, электродвигательная сила должна быть не больше 0,00025 вольта, то есть совершенно незначительна, тогда какъ въ дѣйствительности при такомъ отведеніи получается разность потенціала, достигающая 0,01 вольта.

Такимъ образомъ, если смотрѣть на токи продольной поверхности мышцы, какъ на отвѣтвленіе главнаго тока, происходящаго отъ электромоторнаго источника, находящагося у перерѣзаннаго конца мышечнаго волокна, то необходимо допустить, что электродвигательная сила этого источника весьма велика по сравненію съ силой этихъ токовъ. Дю-Буа Реймонъ при созданіи своей молекулярной теоріи, дѣйствительно, высказалъ предположеніе, что электромоторная сила его молекулъ должна быть гораздо значительнѣе (ja fast unendlich grösser) [1], чѣмъ та величина, которая опредѣляется посредствомъ компенсаціи тока, проходящаго черезъ гальванометръ при отведеніи отъ экватора и центра поперечнаго разрѣза. Однако такое предположеніе было бы допустимо только въ томъ случаѣ, если бы размѣръ электродвигательной молекулы былъ чрезвычайно малъ по сравненію съ поперечникомъ мышечнаго волокна, на концѣ котораго она находится, потому что въ этомъ случаѣ не только при отведеніи отъ двухъ точекъ, взятыхъ на продольной поверхности въ нѣкоторомъ отдаленіи отъ поперечнаго разрѣза, но даже при отведеніи отъ продольнаго и поперечнаго разрѣзовъ, въ гальванометръ попадала бы очень незначительная вѣтвь тока (такъ какъ при такихъ условіяхъ разстояніе между полюсами (діаметръ) молекулы было бы во

[1]) Untersuch. Bd. I, S. 689.

всякомъ случаѣ очень невелико по сравненію съ разстояніями отъ молекулы до того и другого изъ отводящихъ электродовъ); или же приходится допустить, что внутреннее сопротивленіе самой молекулы—элемента по какимъ-то совершенно непонятнымъ причинамъ чрезвычайно велико по сравненію съ сопротивленіемъ влажныхъ проводниковъ (мышечное вещество, ее окружающихъ [1]).

На такое несоотвѣтствіе было обращено вниманіе уже Германомъ, и такъ какъ согласно теоріи Германа слѣдуетъ допустить, что демаркаціонная плоскость, замѣняющая въ данномъ случаѣ элекродвигательную молекулу Дю-Буа Реймона, занимаетъ весь поперечникъ на концѣ каждаго отдѣльнаго перерѣзаннаго мышечнаго волокна, такъ что замыканіе тока совершается только при посредствѣ тонкаго слоя межмышечныхъ соединительнотканныхъ образованій, по сравненію съ которыми діаметръ демаркаціонной плоскости представляется весьма значительнымъ, то онъ указалъ на другую причину, которой можно объяснить токи, наблюдаемые на продольной поверхности мышцы съ точки зрѣнія альтераціонной теоріи. А именно, что вредящее дѣйствіе поперечнаго разрѣза распространяется далеко за его предѣлы, такъ что каждая точка, лежащая ближе къ поперечному разрѣзу, находится въ болѣе раздраженномъ состояніи, и потому болѣе отрицательна по отношенію къ лежащей дальше отъ него [1]) (см. выше).

Согласно вышеприведенному, мы должны придти къ заключенію, что данное Германомъ объясненіе токовъ продольной поверхности заслуживаетъ наибольшаго вниманія съ точки зрѣнія развиваемой нами теоріи, съ тою только разницею, что съ нашей точки зрѣнія нѣтъ надобности прибѣгать къ довольно гипотетическому предположенію, что «вредящее дѣйствіе поперечнаго разрѣза далеко заходитъ въ мышечное волокно, такъ что вслѣдствіе этого получается цѣлый рядъ поперечныхъ слоевъ, которые всѣ находятся въ различныхъ періодахъ умиранія», а достаточно принять во вниманіе то обстоятельство, что образующаяся на поверхности поперечнаго разрѣза угольная кислота необходимо будетъ распространяться путемъ диффузіи вглубь мышцы, причемъ количество ея, очевидно, будетъ уменьшаться по мѣрѣ удаленія отъ поперечнаго разрѣза [2]).

Въ близкой связи съ вопросомъ о происхожденіи токовъ продольной поверхности мышцы стоитъ вопросъ объ истинной величинѣ электродвигательной силы поперечнаго сѣченія (будь это электродвигательная

[1]) Дю-Буа Реймонъ основываетъ свое заключеніе о томъ, что дѣйствительная сила молекулы чрезвычайно велика по сравненію съ наблюдаемой въ гальванометрѣ, на результатахъ, получаемыхъ при опытахъ съ его моделями (см. Untersuch. I, SS. 689—690), причемъ замѣчается чрезвычайное ослабленіе силы тока, получаемаго на такихъ моделяхъ, состоящихъ изъ мѣдно-цинковыхъ молекулъ, по сравненію съ обыкновеннымъ мѣдно-цинковымъ элементомъ Вольта. Такое явленіе совершенно понятно на моделяхъ, состоящихъ изъ нѣсколькихъ рядовъ мѣдно-цинковыхъ молекулъ, которыя, будучи обращены своими полюсами въ разныя стороны, ослабляютъ взаимно дѣйствіе другъ друга, и въ то же время—дѣйствіе крайнихъ молекулъ, расположенныхъ на предполагаемомъ поперечномъ разрѣзѣ. Но такъ какъ въ настоящее время едва-ли кто-нибудь, даже изъ сторонниковъ Дю-Буа Реймона, представляетъ себѣ мышцу по всей толщѣ состоящею изъ подобныхъ дѣятельныхъ молекулъ, то вышеизложенныя наши разсужденія относятся къ такой модификаціи молекулярной теоріи, при которой присутствіе молекулъ предполагается только на перерѣзанныхъ концахъ мышечныхъ волоконецъ, или же къ идеальному случаю теоріи Дю-Буа Реймона, когда внутреннія молекулы, взаимно уничтожая дѣйствіе другъ друга, не оказываютъ никакого вліянія на крайнія молекулы.

[1]) Л. Германъ. Физіол. Т. I, ч. 1, стр. 353. См. здѣсь же третье предположеніе Г., согласно которому эти токи могутъ быть разсматриваемы, какъ катэлектроническіе, зависящіе отъ цѣли у поперечнаго сѣченія. Но такъ какъ, кромѣ Германа, почти всѣ авторы отрицаютъ электротоническія явленія на мышцахъ, то едва-ли можно согласиться съ Германомъ, чтобы они и тутъ играли сколько-нибудь существенную роль, такъ какъ, если при пропусканіи сильныхъ токовъ отъ батареи въ нѣсколько вольтъ, они почти не замѣчаются, то при слабой цѣли у конца волокна, образуемой демаркаціонной плоскостью, ихъ можно считать совершенно ничтожными.

[2]) Уже во время печатанія этой книги появилась интересная статья проф. С. И. Чарѣева (Journ. de Physiol. IV, 4, p. 605; цит. по Centralbl. f. Physiol. 1902), посвященная вопросу о современномъ состояніи ученія о предуществованіи электрическихъ токовъ живыхъ тканей. Въ ней, между прочимъ, указывается, что при цѣлесообразномъ производствѣ опыта съ поперечнымъ сѣченіемъ, токи отъ продольной поверхности совсѣмъ не наблюдаются, т. е. что скачекъ потенціала существуетъ только на самомъ поперечномъ разрѣзѣ. Это вполнѣ соотвѣтствуетъ высказанному нами выше взгляду, что весь поперечный разрѣзъ мышцы долженъ быть разсматриваемъ, какъ одна сплошная демаркаціонная плоскость, причемъ пока вырабатываемая на ней угольная кислота не будетъ проникать вглубь мышцы,—въ цѣпи будетъ существовать одинъ только скачекъ потенціала, на мѣстѣ демаркаціонной плоскости.

молекула, демаркаціонная плоскость или иной какой-либо электромоторный источникъ), т. е. о томъ, насколько именно уменьшается эта сила благодаря выравнивающему дѣйствію индифферентныхъ соединительнотканныхъ образованій. Какъ только что упомянуто, уже на основаніи теоріи Германа слѣдуетъ допустить, что электродвигательная плоскость-молекула (демаркаціонная плоскость Германа) занимаетъ весь поперечникъ каждаго отдѣльнаго перерѣзаннаго волокна, и что замыканіе, слѣдовательно, происходитъ исключительно посредствомъ соединительнотканныхъ межмышечныхъ пучковъ; отсюда вытекаетъ, что электромоторная сила попадающей въ гальванометръ вѣтви тока должна составлять болѣе или менѣе значительную часть электродвигательной силы демаркаціонной плоскости. Согласно же высказанному передъ этимъ нашему мнѣнію, представляется вѣроятнымъ даже допустить, что вся поверхность поперечнаго разрѣза представляетъ одну цѣльную электродвигательную плоскость, на которой накопляются іоны, и отъ которой устремляются они потомъ вглубь мышцы вдоль ея оси, и что, такимъ образомъ, замыканіе всѣхъ исходящихъ отъ нея петель происходитъ только при посредствѣ тонкаго слоя апоневроза, облекающаго мышцу снаружи. Очевидно, что при такихъ условіяхъ распредѣленіе паденія потенціала по ходу петли *abcd* (фиг. 5) будетъ совсѣмъ другое. Такъ какъ часть *ab* будетъ помѣщаться цѣликомъ въ толщѣ мышечнаго волоконца (или даже въ толщѣ всей мышечной массы, если принять, что вся поверхность поперечнаго разрѣза представляетъ одну электродвигательную плоскость или, такъ сказать, одну гигантскую молекулу), тогда какъ частямъ этой же петли *bc* и *cd* придется цѣликомъ проходить въ тонкомъ слоѣ дурно проводящей оболочки, облекающей поверхность мышцы, и такомъ же тонкомъ слоѣ отмершаго вещества на поверхности поперечнаго разрѣза, то очевидно, что сопротивленіе по ходу петель *bc* и *cd* должно быть во много разъ больше, чѣмъ по ходу петли *ab*; а отсюда слѣдуетъ, что паденіе потенціала вдоль пути *ab* будетъ представлять только незначительную часть полнаго паденія потенціала по пути *abcd*, главная часть котораго придется, такимъ образомъ, на участки *bc* и *cd*, и цѣликомъ попадетъ въ гальванометръ. Отсюда понятно, что опредѣляемая посредствомъ компенсаціи тока въ гальванометрѣ величина электромоторной силы будетъ выражать почти полную силу молекулы или электродвигательной плоскости поперечнаго разрѣза, а не дробную только часть ея, какъ полагалъ Дю-Буа Реймонъ. Я даже готовъ сдѣлать еще одинъ шагъ впередъ и предположить, что всякое воображаемое поперечное сѣченіе мышцы представляетъ, такъ сказать, сплошную демаркаціонную плоскость, будучи все занято іонами, число которыхъ (resp. осмотич. давл.) тѣмъ меньше, чѣмъ ближе мѣсто къ экватору, такъ что выравнивающее дѣйствіе наружныхъ оболочекъ становится равнымъ нулю, и дѣло представляется такъ, какъ если бы мы имѣли рядъ соприкасающихся растворовъ, концентрація которыхъ постепенно уменьшалась бы, причемъ отведеніе происходитъ отъ крайнихъ растворовъ; тогда электромоторная сила, опредѣляемая гальванометромъ, въ точности равнялась бы паденію потенціала между крайними растворами (см. гл. II, стр. 59).

Въ послѣднее время была сдѣлана попытка экспериментально рѣшить этотъ вопросъ. Д-ръ Самойловъ, работавшій въ лабораторіи Германа, старался опредѣлить уменьшеніе величины эликтродвигательной силы, происходящее благодаря выравнивающему дѣйствію индифферентныхъ оболочекъ, причемъ онъ измѣрялъ потерю электромоторной силы при завертываніи мышцъ въ куски напитанной физіологическимъ растворомъ фильтровальной бумаги [1]). По его разсчетамъ выходитъ, что разница между получаемой при отведеніи въ гальванометръ электромоторной силой мышечнаго тока и дѣйствительной силой демаркаціонной плоскости не превышаетъ 20%, причемъ весьма вѣроятно, что разница еще меньше, такъ какъ при опытахъ съ обертываніемъ мышцы нѣсколькими слоями мокрой бумаги должна имѣть мѣсто весьма значительная поляризація въ оберткѣ. Такимъ образомъ, если бы разсчеты Самойлова оказались вѣрны, разница между найденной нами выше теоритической величиной демаркаціоннаго тока и дѣйствительной величиной паденія потеніцала на границѣ между раздраженнымъ и покойнымъ веществомъ оказалась бы еще больше. Однако, помимо проблематичности всякихъ подобнаго рода разсчетовъ, основанныхъ на сравненіи проводимости сарколеммы, перемизія и т. п. соединительнотканныхъ образованій мышцы съ проводимостью фильтровальной бумаги, здѣсь слѣдуетъ имѣть еще въ виду и то обстоятельство, что эти разсчеты вообще могутъ имѣть мѣсто при завѣдомо сдѣланномъ допущеніи, что вышеупомянутое выравнивающее дѣйствіе апоневроза дѣйствительно существуетъ въ сколько-нибудь значительной степени. Если же допустить, что очагъ электромоторной дѣятельности не ограничивается только областью демаркаціонной плоскости на поперечномъ разрѣзѣ каждаго отдѣльнаго мышечнаго волокна, а распространяется на все поперечное сѣченіе мышцы, причемъ каждое такое сѣченіе мышцы дѣйствуетъ электромоторно на прилегающее къ нему, благодаря постепенному уменьшенію раздраженія или накопленія угольной кислоты по направленію отъ поперечнаго разрѣза къ экватору,—то вопросъ объ уменьшеніи величины электромоторной силы отводимаго въ гальванометръ тока отпадаетъ самъ собою, такъ какъ при такихъ условіяхъ побочныя замыканія внутри мышцы не могутъ оказывать никакого вліянія на величину паденія потенціала между двумя отводящими электродами, которое будетъ во всякомъ случаѣ равно суммѣ всѣхъ частичныхъ паденій его между поперечнымъ разрѣзомъ и экваторомъ (стр. 59). Такъ какъ на основаніи изложенныхъ выше соображеній такое постепенное паденіе потенціала по направленію отъ поперечнаго разрѣза къ экватору является, на мой взглядъ, въ высшей степени вѣроятнымъ, то съ этой стороны мы должны допустить, что обнаруживающаяся въ гальванометрѣ электромоторная сила демаркаціоннаго тока поперечно перерѣзанной мышцы равна дѣйствительной.

Слѣдуетъ при этомъ замѣтить, что цифровыя данныя, найденныя Самойловымъ при его опытахъ, такъ же легко могутъ быть истолко-

[1]) A. Samojloff. Ueber die eigenthliche elektromotorische Kraft des muskulären Demarkationsstromes. Arch. f. d. ges. Physiol. 1899. Bd. 78. SS. 38—52.

БІБЛІОТЕКА
Харківського Медичн. Інституту
№
Шифр

ваны въ пользу нашего взгляда, если не дѣлать *предвзятаго предположенія* о выравнивающемъ дѣйствіи покрывающихъ мускулъ оболочекъ, какъ и въ пользу этого послѣдняго мнѣнія—при априорномъ его допущеніи, въ чемъ можно сейчасъ убѣдиться.

Самойловъ на основаніи своихъ разсчетовъ приходитъ къ заключенію, что полное сопротивленіе соединительнотканныхъ оболочекъ мышцы, при посредствѣ которыхъ происходитъ выравниваніе тока, можетъ быть принято приблизительно равнымъ сопротивленію одного слоя примѣнившейся при его опытахъ фильтровальной бумаги, пропитанной физіологическимъ растворомъ, сопротивленіе же всей остальной, собственно мышечной массы въ 3—4 раза меньше. Если принять, такимъ образомъ, сопротивленіе апоневротическихъ оболочекъ за 1. то сопротивленіе мышечнаго вещества будетъ равно $^1/_3$. При обертываніи бумагой каждый новый листокъ будетъ уменьшать сопротивленіе наружной оболочки, черезъ которую происходитъ выравниваніе тока (внѣшняя цѣпь мышцы-элемента), въ то время какъ сопротивленіе внутренней мышечной массы (внутр. сопротив. мышцы-элемента) остается все одно и то же; очевидно притомъ, что сопротивленіе внѣшней цѣпи будетъ обратно пропорціонально числу листовъ обертки, увеличенному на единицу (т. к. сопротив. апоневроза = сопр. 1 лист. бум.), такъ что, напр., обертываніе первымъ листомъ уменьшитъ сопротивленіе вдвое. въ случаѣ обертки изъ двухъ листовъ сопротивленіе составитъ $^1/_3$ первоначальнаго и т. д. Обозначая внутреннее сопротивленіе черезъ r, а внѣшнее черезъ R, полную электродвигательную силу тока черезъ E, и часть ея, приходящуюся на внѣшнюю цѣпь (т. е. попадающую при отведеніи тока отъ мышцы въ гальванометръ)—черезъ p. мы будемъ имѣть на основаніи закона Ома (паденіе потенціала вдоль внутренней и внѣшней цѣпи обратно пропорціонально сопротивленіямъ):

$p = \frac{ER}{R+r}$, и $E = \frac{p(R+r)}{R}$ [1]. Такимъ образомъ, зная сопротивленіе внѣшней и внутренней цѣпи и дѣйствительное паденіе потенціала вдоль перваго, можно найти полную электродвигательную силу элемента, или въ данномъ случаѣ мускула. На основаніи этого для одного изъ опытовъ Самойлова можно составить слѣдующую таблицу:

Число листовъ обертки.	Сопротивленіе внѣшней цѣпи R.	Сопротивленіе внутренней цѣпи r.	$\frac{R+r}{R}$	Дѣйствительно наблюдаемая электродвиг. сила внѣшней цѣпи p	Полная электродвигательная сила $E = \frac{p(R+r)}{R}$
0	1	$^1/_3$	$^4/_3$	51,66 [2])	51,66 . $^4/_3$ = 68,88
1	$^1/_2$	$^1/_3$	$^5/_3$	38,01	38,01 . $^5/_3$ = 63,35
2	$^1/_3$	$^1/_3$	$^6/_3$	31,50	31,50 . $^6/_3$ = 63,00
3	$^1/_4$	$^1/_3$	$^7/_3$	26,25	26,25 . $^7/_3$ = 61,12
4	$^1/_5$	$^1/_3$	$^8/_3$	23,31	23,31 . $^8/_3$ = 62,16
5	$^1/_6$	$^1/_3$	$^9/_3$	21,00	21,00 . $^9/_3$ = 63,00

[1]) Напримѣръ, при двухъ листахъ обертки $R = {}^1/_3$ и $r = {}^1/_3$, а потому $E = \frac{p\,(^1/_3 + {}^1/_3)}{^1/_3} = 2\ p$, т. е. электроморотная сила тока, наблюдаемая во внѣшней цѣпи, составитъ $^1/_2$ полной силы.

[2]) Въ милливольтахъ.

На основаніи близкаго совпаденія найденнаго такимъ образомъ ряда величинъ для предполагаемой истинной электродвигательной силы, Самойловъ заключаетъ, что въ данномъ случаѣ принятыя имъ соотношенія между внѣшнимъ и внутреннимъ сопротивленіемъ мышцы-элемента и сопротивленіемъ обертки правильны, и что, такимъ образомъ, истинная сила демаркаціоннаго тока въ этомъ опытѣ составляетъ около 0,063 V, а такъ какъ въ дѣйствительности наблюдалась только 0,05166 V., то, слѣдовательно, потеря составляла около 20%.

Но на основаніи этихъ же данныхъ можно составить и слѣдующую таблицу, предполагая, что при отсутствіи бумажной обертки выравниваніе дѣйствіе апоневратическаго растяженія совершенно отсутствуетъ (или, другими словами, что сопротивленіе его безконечно велико):

Число листовъ обертки.	Сопротивленіе внѣшней цѣпи R.	Сопротивленіе внутренней цѣпи r.	$\frac{R+r}{R}$	Электродвигательная сила внѣшней цѣпи p.	Полная электродвигательная сила $E = \frac{p(R+r)}{R}$
0	∞	$^1/_3$	1 [2])	51,66	56,66 . 1 = 56,66
1	1	$^1/_3$	$^4/_3$	38,01	38,01 . $^4/_3$ = 50,68
2	$^1/_2$	$^1/_3$	$^5/_3$	31,50	31,50 . $^5/_3$ = 52,50
3	$^1/_3$	$^1/_3$	$^6/_3$	26,25	26,25 . $^6/_3$ = 52,50
4	$^1/_4$	$^1/_3$	$^7/_3$	23,31	23,31 . $^7/_3$ = 54,31
5	$^1/_5$	$^1/_3$	$^8/_3$	21,00	21,00 . $^8/_3$ = 56,00

Такимъ образомъ выходитъ, что дѣйствительная величина E должна быть приблизительно равна той, которая получается при непосредственномъ измѣреніи безъ бумажной обертки [1]).

Интересно прослѣдить съ точки зрѣнія развиваемой нами теоріи тѣ измѣненія, которыя претерпѣваетъ электродвигательная сила мышцы при различныхъ условіяхъ ея жизнедѣятельности.

[1]) Приводимыхъ таблицъ нѣтъ въ статьѣ Самойлова, въ которой вычисленіе сдѣлано въ болѣе общей формѣ. Я составилъ ихъ на основаніи цифръ, найденныхъ Самойловымъ, для наглядности. Такіе же параллельные разсчеты можно составить для всѣхъ остальныхъ приводимыхъ Самойловымъ (4) опытовъ. Отсюда видно, что разсчеты, подобные сдѣланнымъ Самойловымъ, могутъ служить только доказательствомъ, что наблюдаемая сила мышечнаго тока не очень разнится отъ дѣйствительной, но въ виду невозможности получить здѣсь математически точныхъ цифровыхъ данныхъ они могутъ имѣть только очень проблематичное значеніе.

[2]) $\frac{R+r}{R} = 1 + \frac{r}{R} = 1 + \frac{r}{\infty} = 1 + 0.$

Указанная выше величина электромоторной силы тока, получающагося при отведеніи отъ экватора и центра поперечнаго разрѣза, представляетъ максимальную цифру, которая наблюдается только короткое время послѣ нанесенія поперечнаго разрѣза,—пока раздражающее дѣйствіе его не начнетъ уменьшаться, вслѣдствіе наступающаго умиранія перерѣзанныхъ концовъ мышечныхъ волоконъ; далѣе сила падаетъ, сначала довольно быстро (около 20% въ теченіе 1 часа), затѣмъ медленнѣе до самой смерти мышцы (48 часовъ и дольше во влажной камерѣ) [1]. Но если въ это время сдѣлать новый поперечный разрѣзъ, то сила тока опять повышается, хотя рѣдко достигаетъ прежней величины. Всѣ эти явленія, разумѣется, совершенно понятны и стоятъ въ зависимости отъ степени жизнедѣятельности (т. е. энергіи метаморфоза и связанной съ нимъ продукціи CO_2) мышечнаго вещества на поверхности поперечнаго разрѣза. Чуть только количество вырабатываемой на поверхности поперечнаго разрѣза угольной кислоты падаетъ, немедленно осмотическое давленіе іоновъ p становится здѣсь меньше, а вмѣстѣ съ тѣмъ уменьшается величина отношенія P/p_1 и электродвигательная сила тока.

Равнымъ образомъ, если осмотическое давленіе p_1 въ покойномъ участкѣ начнетъ почему-либо повышаться, то отношеніе P/p_1 будетъ приближаться къ единицѣ, и, слѣдовательно, величина электродвигательной силы E уменьшится. Если, наконецъ, вся мышца придетъ въ равномѣрное раздраженіе, то p сдѣлается равно p_1, и $E = 0{,}043 \log 1 = 0$. Это явленіе, какъ извѣстно, и наблюдается въ дѣйствительности и названо Дю-Буа Реймономъ *отрицательнымъ колебаніемъ мышечнаго тока*.

Кромѣ отрицательнаго колебанія, на мышцахъ наблюдается также иногда противоположное явленіе, т. е. усиленіе существовавшаго раньше тока, или такъ называемое *положительное колебаніе мышечнаго тока* [2]. Это явленіе наблюдается при раздраженіи задерживающихъ нервныхъ волоконъ и особенно ясно выступаетъ при такихъ условіяхъ, когда представ-

[1] Cp. Biedermann. Elektrophysiologie. I, S. 293.

[2] См. Biedemann. Op. cit., S. 368 ff.

ляется возможность дѣйствовать только на эти нервы, напр., въ томъ случаѣ, когда они проходятъ отдѣльно отъ собственно моторныхъ, или если дѣйствіе послѣднихъ было какъ-нибудь устранено. Такъ, напримѣръ, если обварить кипяткомъ верхушку предсердія черепашьяго сердца и отвесть въ гальванометръ токъ отъ полученнаго такимъ образомъ термическаго сѣченія и основанія предсердія, то при каждомъ раздраженіи блуждающаго нерва получается усиленіе тока (Гаскель). Объясняется это явленіе тѣмъ, что раздраженіе блуждающаго нерва разслабляетъ неповрежденное мышечное вещество у основанія предсердія, т. е. задерживаетъ здѣсь продукцію CO_2H_2, не оказывая никакого дѣйствія на отмирающій участокъ у верхушки предсердія, гдѣ обожженная часть во всякомъ случаѣ будетъ находиться въ максимальной степени раздраженія. Атропинъ устраняетъ эти явленія. Такое же усиленіе демаркаціоннаго тока можетъ быть получено на мышцахъ, сжимающихъ клешню рака, если передъ этимъ, благодаря многократнымъ предшествующимъ сокращеніямъ, онѣ приведены въ такое состояніе, что при раздраженіи подходящихъ къ нимъ нервовъ собственно усиливающія сокращеніе волокна уже перестаютъ дѣйствовать на мышцу, дѣйствіе же разслабляющихъ проявляется въ полной силѣ (Бидерманъ).

Отъ положительнаго колебанія слѣдуетъ отличать явленіе извращенія тока и такъ называемыя вторичныя электромоторныя явленія. Первое наблюдается на умирающихъ мышцахъ и состоитъ въ томъ, что передъ смертью мышцы на ней иногда можно наблюдать токъ противоположнаго направленія нормальному, т. е. продольная поверхность является отрицательной по отношеніе къ поперечному разрѣзу; особенно легко наблюдается это явленіе на мышцахъ, на которыхъ предъ этимъ долго былъ замкнутъ собственный токъ посредствомъ легко проводящей дуги. Вторичныя электромоторныя дѣйствія наблюдаются на мышцахъ, черезъ которыя пропускался въ теченіе нѣкотораго времени въ одномъ какомъ-нибудь направленіи болѣе или менѣе сильный постоянный токъ отъ одного или нѣсколькихъ элементовъ: если послѣ этого, исключивши изъ цѣпи батарею, ввесть на ея мѣсто

гальванометръ, то послѣдній обнаруживаетъ въ мышцѣ присутствіе тока противоположнаго направленія. Оба эти явленія, какъ было уже показано Дю-Буа Реймономъ, обязаны своимъ происхожденіемъ внутренней поляризаціи, происходящей внутри влажнаго проводника, въ данномъ случаѣ мышцы: при прохожденіи черезъ нее тока (отъ батареи или собственно мышечнаго, если онъ былъ замкнутъ) положительные и отрицательные іоны скопляются у мѣстъ приложенія противоположныхъ электродовъ, которыми они притягиваются; послѣ размыканія батарейнаго тока они устремятся отъ этихъ мѣстъ ихъ скопленія въ противоположномъ направленіи тому, по которому двигались подъ вліяніемъ батарейнаго тока (поляризующій токъ), и дадутъ начало вторичному, настоящему концентраціонному току (поляризаціонный токъ), направленіе котораго будетъ противоположно первоначальному поляризующему.

Довольно значительныя колебанія силы мышечныхъ токовъ наблюдаются въ зависимости отъ температурныхъ измѣненій.

Съ теоретической точки зрѣнія можно ожидать двоякаго вліянія [1]) температурныхъ колебаній на силу тока: во-первыхъ, при повышеніи температуры увеличивается производимая диффундирующими іонами работа, а вмѣстѣ съ тѣмъ и электродвигательная сила тока E, которая, какъ видно изъ основной формулы (1, стр. 53), прямо пропорціональна температурѣ T, во-вторыхъ, при повышеніи температуры увеличивается диффузіонная скорость движенія іоновъ u и v, причемъ приростъ скорости у медленно двигающихся іоновъ относительно больше, чѣмъ у двигающихся быстрѣе (стр. 45), благодаря чему должна измѣниться величина коэффиціента $\frac{u/n - v/n_1}{u + v}$.

Легко убѣдиться, что въ отношеніи мышечнаго тока совокупное вліяніе обѣихъ этихъ причинъ должно выразиться незначительнымъ повышеніемъ электродвигательной силы тока при повышеніи температуры. Напримѣръ, для такого случая, когда опытъ производится при обыкновенной комнатной температурѣ 18° (T = 291), которая потомъ увеличивается на

[1]) Nernst. Zeitschr. physik. Chem. Bd. 4. 1889.

10 градусовъ, для электромоторной силы въ началѣ опыта мы будемъ имѣть (форм. 3, стр. 56):

$$E = \frac{u/n - v/n_1}{u + v} \frac{T}{5042} \log \frac{p}{p_1} = \frac{291/1 - 62/2}{291 + 62} \frac{291}{5042} \log \frac{p}{p_1} =$$

$$= 0{,}0425 \log \frac{p}{p_1} \text{ Volt.}$$

Принимая увеличеніе скорости движенія іона CO_3 равнымъ 2,2°/₀, а іона водорода 1,5°/₀ на 1°C [1]), мы найдемъ такимъ образомъ величину электромоторной силы при повышеніи температуры на 10°:

$$E = \frac{333/1 - 75/2}{333 + 75} \frac{301}{5042} \log \frac{p}{p_1} = 0{,}0433 \log \frac{p}{p_1} \text{ Volt.}$$

Точно также найдемъ, что если бы температура увеличилась не на 10, а на 20 градусовъ, то электромоторная сила сдѣлалась бы равной 0,0442 V.

Дѣйствительно, Германъ находилъ во время своихъ опытовъ, что при помѣщеніи мышцы цѣликомъ въ нагрѣтую камеру сила демаркаціоннаго тока, получающагося при отведеніи отъ искусственнаго поперечнаго разрѣза и продольной поверхности, увеличивается, причемъ увеличеніе это бываетъ нерѣдко очень значительно (22°/₀) [2]).

Это послѣднее обстоятельство заставляетъ думать, что температурныя колебанія мышечнаго тока должны зависѣть отъ другой причины.

Въ самомъ дѣлѣ, по изслѣдованіямъ того же Германа, оказывается, что при умѣренномъ нагрѣваніи (gelindes Erwärmen) [3]) какого-нибудь мѣста мышцы послѣднее становится положительнымъ по отношенію къ ненагрѣтому (выходящій токъ). Это обстоятельство можетъ быть объяснено какъ результатъ уменьшенія степени паденія потенціала у болѣе нагрѣтаго мѣста. Дѣло въ томъ, что хотя при отведеніи отъ двухъ мѣстъ, находящихся въ одинаковой степени раздраженія, токъ въ гальванометрѣ и не обнаруживается, однако извѣстное количество CO_2H_2 образуется и въ томъ, и въ другомъ мѣстѣ

[1]) Cp. F. Kohlrausch. Wied. Ann. Bd. 26, S. 223.

[2]) Руков. физіол. 1 (1), стр. 287—288.

[3]) Untersuchungen. Heft. 2, S. 6 ff.

(даже если ткань находится въ покойномъ состояніи, такъ какъ всякій покой есть только относительный), а слѣдовательно, и должно существовать извѣстное паденіе потенціала на томъ и другомъ мѣстѣ, направленное отъ этого мѣста въ глубину мѣста (входящій токъ); при обыкновенныхъ условіяхъ паденія потенціала у того и другого электрода должны быть одинаковы и, будучи направлены въ противоположныя стороны, взаимно уничтожаютъ другъ друга, такъ что гальванометръ остается въ покоѣ; но если одно мѣсто нагрѣвается, то паденіе потенціала здѣсь становится меньше, благодаря чему оно пересиливается противоположнымъ паденіемъ, существующимъ у другого электрода, и въ гальванометрѣ появляется токъ, направленіе котораго будетъ выходящее по отношенію къ болѣе нагрѣтому мѣсту, которое такимъ образомъ окажется положительнымъ.

Далѣе Германъ нашелъ, что только нагрѣваніе въ области положительнаго электрода, т. е. на продольной поверхности, сопровождается увеличеніемъ положительности нагрѣтаго мѣста, тогда какъ нагрѣваніе непосредственно у искусственнаго поперечнаго сѣченія не производитъ никакого вліянія на силу мышечнаго тока, то есть послѣдняя зависитъ только отъ температуры, существующей въ точкѣ отведенія на продольномъ разрѣзѣ, — этотъ фактъ тоже никакъ не можетъ быть объясненъ, если принимать вліяніе температуры на силу тока только путемъ измѣненія скорости іоновъ и производимой ими работы.

Я думаю, что причину обусловливающую всѣ эти температурныя колебанія мышечнаго тока слѣдуетъ искать со стороны вліянія температуры на *скорость выдѣленія образующейся при дѣятельности мускула CO_2 въ окружающій воздухъ*. Въ самомъ дѣлѣ, извѣстно, что вода при низкой температурѣ способна поглощать большія количества газовъ, чѣмъ при высшей. Съ повышеніемъ температуры эти послѣдніе очень быстро выдѣляются изъ нея въ видѣ пузырьковъ. Конечно, въ живой протоплазмѣ подобныхъ пузырьковъ образовываться не можетъ, но тѣмъ не менѣе и здѣсь нагрѣваніе должно сказываться уменьшеніемъ способности удерживать CO_2 въ растворѣ,

т. е. пониженіемъ осмотическаго давленія въ нагрѣваемомъ мѣстѣ, отрицательность котораго должна такимъ образомъ уменьшиться. Флетчеръ въ вышеупомянутой (стр. 76) своей работѣ, также могъ констатировать необыкновенно сильное выдѣленіе углекислоты мышцами при нагрѣваніи; при пониженіи t° выдѣленіе CO_2 рѣзко падаетъ, хотя бы сокращенія мускула продолжались съ прежней или даже большей силой.

Сомнѣніе можетъ возникнуть только относительно того, почему нагрѣваніе оказываетъ дѣйствіе только на неповрежденную продольную поверхность мускула, и остается совершенно безъ вліянія на искусственное поперечное сѣченіе. Это проще всего можно объяснить тѣмъ обстоятельствомъ, что хотя при нагрѣваніи на поперечномъ разрѣзѣ тоже увеличивается выдѣленіе углекислоты наружу, но здѣсь вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается и продукція ея, такъ какъ вообще теплота должна увеличивать интенсивность метаморфоза раздраженной и дѣятельной протоплазмы на концахъ перерѣзанныхъ мышечныхъ волоконецъ, такъ что въ концѣ концовъ осмотическое давленіе можетъ остаться здѣсь неизмѣненнымъ или даже нѣсколько увеличиться, на неповрежденной же продольной поверхности мускула дѣйствіе теплоты не можетъ оказать сколько-нибудь замѣтнаго вліянія на метаморфозъ протоплазмы, находящейся въ состояніи болѣе или менѣе полнаго покоя, и выразится только усиленнымъ выдѣленіемъ CO_2 и пониженіемъ осмотическаго давленія остающейся въ растворѣ CO_3H_2. Очевидно, что при такихъ условіяхъ нагрѣваніе мышцы in toto должно сопровождаться усиленіемъ демаркаціоннаго тока, получающаго при отведеніи отъ искусственнаго поперечнаго сѣченія и нормальной продольной поверхности ея, такъ какъ это нагрѣваніе вызоветъ паденіе осмотическаго давленія CO_3H_2 на мѣстѣ приложенія положительнаго электрода (который черезъ это сдѣлается еще болѣе положительнымъ), не измѣняя или даже увеличивая его на поперечномъ разрѣзѣ, гдѣ приложенъ отрицательный электродъ [1]).

[1]) Недавно появилась работа Бернштейна (Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 92. SS. 451—472. 1902), въ которой авторъ на основаніи измѣренія температурныхъ колебаній эл.-моторной силы мышечныхъ токовъ, приходитъ къ заклю-

Изъ другихъ факторовъ, вліяніе которыхъ на мышечный токъ интересно для насъ, слѣдуетъ указать на дѣйствіе различныхъ ядовъ.

Этимъ вопросомъ особенно много занимался еще при самомъ открытіи мышечныхъ токовъ Маттеучи, а также и Дю-Буа Реймонъ [1]). Опыты производились такимъ образомъ, что бралось нѣсколько штукъ лягушекъ, половина которыхъ отравлялась тѣмъ или другимъ ядомъ, и затѣмъ устраивалась батарея изъ лягушечьихъ мышцъ, причемъ бралось извѣстное число одноименныхъ мышцъ отравленныхъ и такое же число неотравленныхъ, которыя соединялись послѣдовательно въ два столба такъ, чтобы направленіе тока въ нихъ было противоположно другъ другу; образованная такимъ образомъ батарея вводилась въ цѣпь гальванометра, который и обнаруживалъ, которая группа мышцъ, отравленная или неотравленная, давала болѣе сильный токъ. Если требовалось испытать вліяніе газообразнаго вещества, то мышца вмѣстѣ съ отводящими электродами помѣщалась подъ колоколъ, въ который пускался тотъ или другой газъ.

ченію, что токи эти суть токи концентраціонные. Хотя такой выводъ могъ бы служить весьма цѣннымъ доводомъ въ пользу нашего взгляда, однако воспользоваться имъ для этой цѣли я не нахожу возможнымъ, такъ какъ, на мой взглядъ, изъ результатовъ измѣреній Бернштейна вовсе нельзя сдѣлать такихъ выводовъ, какіе дѣлаетъ авторъ. Принципъ, которымъ онъ пользовался при производствѣ своего изслѣдованія, заключается въ слѣдующемъ. Не входя въ разсмотрѣніе вопроса о томъ, какой именно электролитъ вызываетъ мышечные токи, и не имѣя возможности, поэтому, знать ни относительныхъ скоростей токовъ, ни ихъ температурныхъ коэффиціентовъ, Б. опредѣлялъ эти величины, какъ неизвѣстныя, изъ нѣсколькихъ уравненій для опредѣленія электромоторной силы, въ которыхъ въ качествѣ извѣстнаго члена вставлялись дѣйствительно наблюдаемыя величины электродвигательной силы E, и температуры T; а затѣмъ на основаніи ихъ вычислялъ электромоторную силу для какой-нибудь близко стоящей къ нимъ температуры (на самомъ дѣлѣ вычисленіе первыхъ неизвѣстныхъ не доводилось до конца, ограничиваясь подстановкою величинъ изъ первыхъ уравненій въ послѣднее). Близкое совпаденіе теоретической и дѣйствительно находимой величины при этомъ ничего не говоритъ, и должно было получиться во всякомъ случаѣ, такъ какъ вся манипуляція въ концѣ концовъ сводилась почти единственно къ тому, что надъ одной и той же величиной (E) производились два противоположныя дѣйствія.

[1]) Untersuch. II (1), S. 171 ff.

Изъ подобныхъ опытовъ Дю-Буа Реймонъ вывелъ заключеніе, что результатъ отравленія животнаго (лягушекъ, а также и голубей) рядомъ такихъ веществъ, какъ опіумъ, стрихнинъ, синильная кислота и др., зависитъ исключительно отъ вліянія ихъ «на болѣе раннее или болѣе позднее наступленіе окоченѣнія, т. е. смерти мускула» [1]). Другими словами—ядъ оказываетъ только косвеннымъ путемъ вліяніе на мышечный токъ: если отравленная мышца умираетъ скорѣе неотравленной, то вмѣстѣ съ тѣмъ скорѣе падаетъ и сила тока.

Только въ нѣкоторыхъ случаяхъ, какъ напр., при отравленіи кураре (Рёберъ), наблюдалось усиленіе тока отравленной мышцы. Для кураре Рёберъ объясняетъ это тѣмъ, что ядъ вызываетъ сильный приливъ крови къ отравленной мышцѣ [2]). Такое объясненіе, пожалуй, довольно вѣроятно, такъ какъ подобнаго же рода явленіе замѣчалъ Маттеучи, который наблюдалъ усиленіе мышечнаго тока у лягушекъ, у которыхъ за нѣсколько дней передъ этимъ былъ вызванъ параличъ конечностей путемъ поврежденія спиннаго мозга [3]). Я думаю, однако, что и то и другое явленіе скорѣе всего можно объяснить тѣмъ обстоятельствомъ, что въ обоихъ этихъ случаяхъ находившіяся нѣкоторое время въ совершенномъ покоѣ (вслѣдствіе отравленія кураре или поврежденія спиннаго мозга) мышцы послѣ смерти животнаго просто являлись болѣе живнеспособными, по сравненію съ мышцами, взятыми отъ здоровыхъ лягушекъ, въ которыхъ благодаря движеніямъ количество запасныхъ матеріаловъ было меньше.

Въ началѣ своихъ занятій по электрофизіологіи въ лабораторіи Военно-Медицинской Академіи я тоже, по предположенію проф. И. Р. Тарханова, занялся вопросомъ о вліяніи отравленія различными ядами на электродвигательную силу мышечныхъ токовъ лягушки. Опыты производились мною такимъ образомъ, что послѣ предварительной перевязки a. iliaca на одной сторонѣ испытуемое вещество впрыскивалось подъ кожу или въ брюшную полость, и послѣ извѣстнаго проме-

[1]) Ibidem, S. 171.
[2]) Германъ. Руков. физіол. I (1), стр. 287, прим. 4.
[3]) Du-Bois Reym. Op. cit. S. 171.

жутка времени животное убивалось, и отводился токъ отъ икроножныхъ мышцъ, вырѣзанныхъ или находившихся in situ (при этомъ можно не измѣрять силу тока отъ каждой мышцы въ отдѣльности, а прямо отвесть ахилловы сухожилья той и другой, — при равенствѣ тока на обѣихъ сторонахъ отклоненія гальванометра совсѣмъ не должно быть). Такимъ образомъ мною были испытаны соли многихъ тяжелыхъ металловъ, въ томъ числѣ свинца и мѣди, и спеціально мышечные яды, какъ вератринъ и кураре. Однако я никогда не могъ замѣтить какого-либо спецефическаго вліянія на силу мышечнаго тока того или другого вещества, или самой операціи перевязки a. iliaca, кромѣ того, которое могло зависѣть отъ неодинаковой быстроты умиранія отравленной и неотравленной мышцы. Такъ напримѣръ, если животное убивалось спустя короткое время послѣ впрыскиванія яда, то первое время послѣ отведенія не замѣчалось никакой постоянной разницы въ силѣ тока той и другой стороны, и только спустя нѣкоторое время замѣчалось болѣе быстрое угасаніе тока на отравленной сторонѣ, а въ случаѣ простой перевязки артеріи безъ послѣдующаго впрыскиванія яда—на оперированной сторонѣ. Въ томъ же случаѣ, когда лягушка убивалась спустя болѣе или менѣе долгое время послѣ впрыскиванія, мышцы отравленной стороны сразу же обнаруживали болѣе слабый токъ (см. ниже, гл. VI, опытъ 12-й).

Подобные же отрицательные результаты были получены разными наблюдателями при испытаніи дѣйствія на мышечный токъ различныхъ газообразныхъ веществъ. Подъ вліяніемъ газообразныхъ анэстетическихъ веществъ, какъ хлороформъ, эфиръ, амиленъ, мышца очень быстро теряетъ возбудимость и способность сокращаться, а между тѣмъ сила мышечнаго тока при этомъ, повидимому, совершенно не измѣняется [1]), — разумѣется, если только дѣйствіе ихъ не настолько продолжительно, что мышца уже начнетъ умирать. Дѣйствіе такихъ газовъ, какъ кислородъ, водородъ, углекислота и т. п., было изслѣдовано Дю-Буа Реймономъ уже въ самомъ началѣ

[1]) Cp. Biedermann. Elektrophysiol. I, S. 306.

его работъ надъ мышечнымъ токомъ. Сначала онъ, было, нашелъ, что токъ значительно усиливается подъ дѣйствіемъ кислорода и веселящаго газа, тогда какъ въ атмосферѣ водорода, азота и углекислоты онъ нѣсколько ослабѣваетъ. Впослѣдствіи однако, послѣ открытія газовой батареи Грова (1842), онъ пришелъ къ заключенію, что измѣненія тока подъ вліяніемъ газовъ, если и замѣчаются, то зависятъ отъ собственнаго электромоторнаго ихъ дѣйствія, какъ въ газовомъ элементѣ, а не отъ прямого воздѣйствія на мышечную ткань или заключающіяся въ ней электродвигательныя молекулы. Такъ же объясняетъ онъ и замѣченныя Маттеучи колебанія силы тока при дѣйствіи водорода и другихъ газовъ [1]).

Такое отсутствіе вліянія на мышечный токъ со стороны цѣлаго ряда веществъ, принадлежащихъ къ числу болѣе или менѣе сильныхъ мышечныхъ ядовъ, должно казаться очень загадочнымъ, особенно съ точки зрѣнія молекулярной теоріи Дю-Буа Реймона, такъ какъ, если признавать тѣсную связь между электромоторной дѣятельностью и другими жизненными функціями живой протоплазмы, то становится непонятнымъ такое нарушеніе этой связи въ данномъ случаѣ. Однако это можно объяснить, если принять во вниманіе то обстоятельство, что мышечный токъ съ точки зрѣнія нашихъ теперешнихъ понятій долженъ быть разсматриваемъ, какъ зависящій отъ поврежденій мышечнаго вещества тѣмъ или другимъ внѣшнимъ путемъ (поперечный разрѣзъ, или прижиганіе поверхности ѣдкимъ веществомъ при опытѣ съ икроножными мышцами): легко допустить, что при такомъ грубомъ внѣшнемъ воздѣйствіи мышечное вещество впадаетъ въ максимальную степень раздраженія, какая только для него вообще возможна, причемъ слабая степень отравленія тѣмъ или другимъ веществомъ, могущая вліять только на большую или меньшую воспріимчивость мышцы къ раздраженію, играетъ несущественную роль при такомъ сильномъ раздражителѣ. Справедливость такого мнѣнія подтверждается тѣмъ фактомъ, что дѣйствіе цѣлаго ряда этихъ веществъ, какъ кислородъ, углекислота, хлороформъ, эфиръ, ви-

[1]) Du-Bois Reym. Untersuch. II (1), S. 184 ff.

локарпинъ, атропинъ и т. п., обнаруживается совершенно ясно на силѣ электрическихъ токовъ, наблюдаемыхъ на кожѣ и слизистыхъ оболочкахъ лягушки, причемъ кислородъ и пилокарпинъ усиливаютъ токъ, а остальные ослабляютъ [1]). Объясняется это тѣмъ, что кожные токи являются результатомъ физіологическаго, а не искусственнаго внѣшняго раздраженія кожныхъ железъ (см. ниже гл. VIII), степень котораго можетъ мѣняться въ зависимости отъ сравнительно слабыхъ воздѣйствій [2]).

[1]) См. Biedermann. Op. cit., SS. 405, 409, 415 (на слизистыхъ оболочкахъ); и Вартановъ. Гальван. явл. въ кожѣ лягушки. Дис. 1892. Послѣдній получалъ весьма ясные результаты отъ хлороформа, но не отъ атропина и пилокарпина (на кожѣ).

[2]) О появленіи демаркаціоннаго тока при мѣстномъ воздѣйствіи ядовъ, см. M. Henze. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 92. (1902).

Глава V.

Токи наклоненія.

Если отводить въ гальванометръ двѣ точки поперечнаго разрѣза мышцы, которыя находятся на равныхъ разстояніяхъ отъ его центра, то, какъ объяснено выше, тока не получается. Однако это положеніе справедливо только для того случая, когда поперечный разрѣзъ сдѣланъ строго перпендикулярно къ продольной оси мышцы. Если же разрѣзъ сдѣлать болѣе или менѣе наклонно къ мышечной оси, то равновѣсіе петель тока нарушается, и мы получимъ отклоненіе стрѣлки гальванометра. Наиболѣе сильный токъ получается при этомъ, если отведеніе производится отъ двухъ точекъ, по возможности удаленныхъ отъ центра, т. е. отъ вершинъ тупого и острого угловъ поперечнаго разрѣза, вмѣстѣ съ тѣмъ электромоторная сила тѣмъ больше, чѣмъ косвеннѣе наносится разрѣзъ, т. е. чѣмъ острѣе уголъ, подъ которымъ перерѣзается мышца. Токи эти открыты Дю-Буа Реймономъ и названы имъ *токами наклоненія* (стр. 15).

Причину ихъ возникновенія не трудно объяснить, если пользоваться электромоторной схемой строенія мышцы по Дю-Буа Реймону.

Предположимъ сначала, что на поверхности косоперерѣзанной мышцы, находится только одна большая электродвигательная молекула (фиг. 6); если отводимъ токъ отъ вершинъ остраго и тупого becomes А и В, то при этомъ въ гальванометръ отвѣтвляются части петель тока ac и $a_1 c_1$; очевидно, что вслѣдствіе большей близости центра молекулы къ вершинѣ тупого угла В и большаго удаленія отъ вершины остраго А, въ гальванометръ попадетъ болѣе сильная вѣтвь

Фиг. 6.

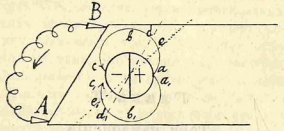


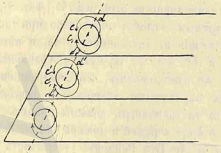
Схема тока наклоненія согласно теоріи Дю-Буа Реймона.

верхней петли ac: напримѣръ, если отъ ac отвѣтвится часть dc, то отъ a_1c_1 попадетъ только болѣе короткій участокъ d_1c_1; понятно, что благодаря этому обстоятельству dc пересилитъ d_1c_1 и обнаружится въ гальванометрѣ въ видѣ нисходящаго тока (стрѣлка), имѣющаго въ цѣпи гальванометра направленіе отъ тупого къ острому углу. Не трудно видѣть также, что электромоторная сила такого тока будетъ увеличиваться съ увеличеніемъ наклоненія поперечнаго разрѣза (т. е. съ уменьшеніемъ величины угла A), потому что, если увеличимъ наклоненія разрѣза такъ, напримѣръ, чтобы линія dd_1 (параллельная поверхности разрѣза) заняла положеніе ee_1, то очевидно, что разность между силою петель ce и c_1e_1 окажется больше, чѣмъ разность cd и c_1d_1 [1]).

Понятно далѣе, что суть дѣла не измѣнится и тогда, если на поверхности поперечнаго разрѣза будетъ находиться не одна, а цѣлый рядъ электродвигательныхъ молекулъ (фиг. 7), съ тою только разницею, что при такихъ условіяхъ въ гальванометрѣ попадетъ теперь разность между верхней и нижней петлями не отъ одной только молекулы, а отъ ихъ всѣхъ; и полная электродвигательная сила появляющагося

[1]) $cd = cb + bd$, $c_1d_1 = c_1b_1 - b_1d_1 = cb - bd$; $cd - c_1d_1 = cb + bd - (cb - bd) = 2\,bd$; точно также найдемъ, что $ce - c_1e_1 = 2\,be$. Слѣдуетъ имѣть въ виду, что какъ приводимые разсчеты, такъ и вообще изображенное на нашихъ рисункахъ распредѣленіе петель тока при токахъ наклоненія имѣютъ лишь самый общій схематическій характеръ, и должно служить только для наглядняго уясненія сути дѣла.

Фиг. 7.

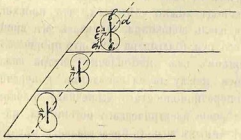


Суммированіе петель тока, происходящихъ отъ отдѣльныхъ молекулъ, находящихся на концахъ мышечныхъ волоконъ косо перерѣзанной мышцы, по Дю-Буа Реймону.

при этомъ тока будетъ равна суммѣ всѣхъ этихъ разностей: $E = (cd - c_1d_1) + (c'd' - c_1'd_1') + \ldots$.

Объясненіе токовъ наклоненія по теоріи Германа по существу то же самое, съ тою только разницею, что роль электромоторной молекулы на концѣ перерѣзаннаго мышечнаго волокна играетъ демаркаціонная плоскость отмиранія (фиг. 8). Однако при этомъ необходимо допустить, что эта плоскость, т. е. граница между отмирающей и еще живой тканью, располагается на концѣ каждаго перерѣзаннаго волокна не параллельно косой

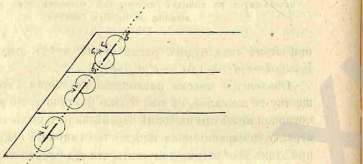
Фиг. 8.



Петли токовъ при наклонномъ положеніи поперечнаго сѣченія и перпендикулярномъ къ оси мышцы расположеніи демаркаціонныхъ плоскостей.

поверхности разрѣза, и, слѣдовательно, наклонно къ продольной оси, а перпендикулярно къ этой оси (bb_1, фиг. 8), какъ при разрѣзѣ подъ прямымъ угломъ; ибо только при такомъ ея положеніи попадающія въ гальванометръ части вѣтвей тока cd и c_1d_1, $c'd'$ и $c'_1d'_1$ и т. д. не будутъ уравновѣшивать другъ друга; если же предположить, что демаркаціонная плоскость расположена параллельно поверхности разрѣза (фиг. 9), то при этомъ въ гальванометръ должны попасть равной длины отрѣзки (bc и b_1c_1) верхней и нижней петли. Германъ, въ противоположность Дю-Буа Реймону, утверждаетъ [1]), что путемъ

Фиг. 9.



Распредѣленіе петель токовъ при расположеніи демаркаціонныхъ плоскостей, параллельномъ плоскости косого поперечнаго разрѣза.

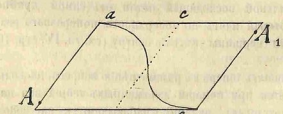
микроскопическаго наблюденія концовъ отмирающихъ мышечныхъ волоконецъ можно убѣдиться, что плоскость умиранія подвигается вдоль волоконца, оставаясь все время перпендикулярною его оси (благодаря тому, что процессъ захватываетъ всегда цѣликомъ всю протоплазму внутри каждаго отдѣла, находящагося между двумя сосѣдними поперечными перегородками поперечнополосатаго мышечнаго волоконца).

Распредѣленіе электрическаго потенціала на поверхности косо перерѣзанныхъ мышцъ представляетъ нѣкоторыя особенности. Какъ сказано раньше, Дю-Буа Реймонъ установилъ,

[1]) Ср. Руков физіол. I (1), стр. 252, прим. 1.

что при отведеніяхъ отъ мышечнаго цилиндра съ параллельнымъ ходомъ волоконъ и двумя искусственными поперечными разрѣзами на обоихъ концахъ получаемая разность потенціала тѣмъ больше, чѣмъ ближе одно отводимое мѣсто къ центру поперечнаго разрѣза, а другое къ срединѣ продольной неповрежденной поверхности мышцы (экваторъ), которая, такимъ образомъ, обнаруживаетъ наибольшее положительное напряженіе, тогда какъ центръ поперечнаго разрѣза является наиболѣе отрицательной точкой мышечнаго цилиндра. Если при этомъ берется мышца съ возможно правильнымъ параллельнымъ ходомъ волоконъ, какъ напр., портняжная, и оба искусственные поперечные разрѣза на ея концахъ дѣлаются строго подъ прямымъ угломъ, то мышечный экваторъ будетъ находиться въ точности посрединѣ между обоими поперечными разрѣзами, такъ что кривая экватора представляется въ формѣ линіи, опоясывающей средину мышечнаго цилиндра. Иначе обстоитъ дѣло на косо перерѣзанныхъ мышцахъ, дающихъ токи наклоненія. Если взять тотъ же musc. sartorius лягушки и сдѣлать на обоихъ концахъ его косые поперечные разрѣзы подъ однимъ и тѣмъ же угломъ такъ, чтобы получился мышечный кусокъ въ формѣ болѣе или менѣе удлиненнаго параллелограма (фиг. 10), то при отведеніи тока оказывается, что линія наиболѣе электрическаго напряженія, соотвѣтствующая мышечному экватору, занимаетъ косвенное положеніе, представляя кривую (ab), вытянутую по направленію къ тупымъ угламъ мышечнаго параллелограмма; точки же наибольшаго

Фиг. 10.



Положеніе мышечнаго экватора при токахъ наклоненія.

Фиг. 11.

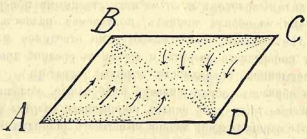


Схема распредѣленія силовыхъ линій внутри мышцы при токахъ наклоненія.

отрицательнаго напряженія (A и A_1) помѣщаются на поверхности поперечнаго разрѣза у вершинъ острыхъ угловъ, немного отъ нея отступая по направленію къ центру разрѣза.

Такія отношенія объясняются своеобразнымъ ходомъ петель тока въ мышцѣ (фиг. 11). Какою бы теоріею мышечныхъ токовъ мы ни пользовались, и вообще какова бы ни была причина возникновенія разности потенціала у вершины тупого и остраго угловъ, но разъ она существуетъ, то пограничная плоскость между двумя системами петель, исходящихъ изъ обѣихъ вершинъ острыхъ угловъ, при отведеніи отъ которой въ гальванометрѣ отвѣтвляется наиболѣе длинный отрѣзокъ петли (ср. стр. 100), должна занять вытянутое положеніе по направленію тупыхъ угловъ B и D.

То обстоятельство, что наиболѣе отрицательная точка находится не на самой вершинѣ острато угла, а на нѣкоторомъ разстояніи отъ нея, можетъ быть объяснено съ точки зрѣнія теоріи Дю-Буа Реймона и Германа устраненіемъ при этомъ сильной восходящей петли отъ самой крайней молекулы, которая идетъ по поверхности поперечнаго разрѣза отъ периферіи (вершины угла) къ центру (см. гл. IV, стр. 101—103, фиг. 5).

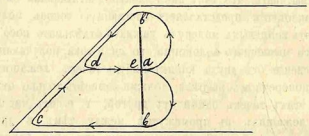
Обращаясь теперь къ разсмотрѣнію вопроса, насколько полно объясняется при помощи изложенныхъ теорій вся наличность электромоторныхъ явленій, наблюдаемыхъ на косо перерѣзанныхъ мышцахъ, мы наталкиваемся на цѣлый рядъ затрудненій.

Прежде всего изъ теоріи Дю-Буа Реймона непосрсдственно должно вытекать, что такъ какъ электродвигательная сила токовъ наклоненія представляетъ слагающую токовъ, получающихся отъ концевыхъ молекулъ каждаго отдѣльнаго косо перерѣзаннаго мышечнаго волоконца, то сила тока, получающагося при отведеніи отъ двухъ какихъ-нибудь точекъ, лежащихъ на косомъ поперечномъ разрѣзѣ, должна зависѣть только отъ разстоянія этихъ точекъ одной отъ другой, т. е. отъ числа молекулъ, лежащихъ въ промежуткѣ между тѣмъ и другимъ электродомъ, но совершенно независима отъ того, берутся ли двѣ отводимыя точки на срединѣ разрѣза, ближе къ тупому, или къ острому углу. Между тѣмъ послѣднее обстоятельство оказывается далеко не безразличнымъ; такъ, напримѣръ, при отведеніи отъ двухъ точекъ, лежащихъ обѣ по одну сторону отъ центра поперечнаго разрѣза ближе къ острому углу, сила тока получается больше, чѣмъ если отвесть токъ такимъ же образомъ отъ двухъ точекъ, лежащихъ ближе къ тупому углу; если же приложить электроды такъ, чтобы они находились на такомъ же разстояніи другъ отъ друга, но по обѣ стороны отъ средины разрѣза, одинъ ближе къ тупому, а другой — къ острому углу, то получается токъ совсѣмъ слабый.

Другое обстоятельство, которое говоритъ противъ теорій, разсматривающихъ токи наклоненія, какъ случай суммированія петель токовъ вслѣдствіе несимметричнаго отведенія,— эта незначительная величина электродвигательной силы такого суммарнаго тока по сравненію съ той, которую можно предполагать исходя изъ этихъ теорій.

Хотя мы и не можемъ вычислить даже съ приблизительною точностью электродвигательную силу тока наклоненія, какою она должна быть согласно теоріи Дю-Буа Реймона, за отсутствіемъ многихъ необходимыхъ для этого данныхъ, въ томъ числѣ, напр., свѣдѣній о числѣ отдѣльныхъ мышечныхъ волоконецъ, resp. демаркаціонныхъ плоскостей, расположенныхъ въ рядъ на поверхности поперечнаго разрѣза, разстояніи демаркаціонныхъ плоскостей отъ концовъ перерѣзанныхъ волоконъ и т. д., однако въ грубыхъ предѣлахъ мы можемъ опредѣлить эту силу. Въ самомъ дѣлѣ, предположимъ, что мы

Фиг. 12.



имѣемъ дѣло съ отдѣльнымъ мышечнымъ волокномъ (фиг. 12), перерѣзаннымъ подъ угломъ въ 45°, и притомъ такъ, что демаркаціонная плоскость bb' находится въ наиболѣе близкомъ разстояніи отъ поверхности поперечнаго разрѣза, какое только возможно, принимая во вниманіе, что молекула, resp. демаркаціонная плоскость, соотвѣтствуетъ поперечной перегородкѣ мышечнаго волокна. Съ грубымъ приближеніемъ мы можемъ принять, что паденіе потенціала вдоль петель $ab'de$ и $abcde$ идетъ такимъ образомъ, что паденіе его вдоль участковъ ab' и ab одинаково и составляетъ половину всей величины электромоторной силы ae, затѣмъ паденіе вдоль пути de должно быть для той и другой петли одинаково, такъ какъ путь de соотвѣтствуетъ пограничной плоскости между обѣими системами петель тока (силовыхъ линій), наконецъ можно допустить, что паденіе вдоль отрѣзковъ bc и cd тоже одинаково. Сдѣлавши такія допущенія и принимая электродвигательную силу демаркаціонной плоскости (или, все равно, молекулы Дю-Буа Реймона) равной 0,04 V, мы будемъ имѣть: $b'de = b'd + de = 0{,}02$ V и $bcde = bc + cd + de = 0{,}02$ V. Принимая ширину волокна $b'b$ равной 50 микронамъ, мы можемъ принять, что $de = 25\ \mu$, а $b'd = 35\ \mu$ (такъ какъ de и $b'd$ соотвѣтствуютъ половинамъ катета и гипотенузы равнобедреннаго прямоугольнаго треугольника $cb'b$), и тогда, слѣдовательно, при допущеніи равномѣрнаго паденія потенціала по всему ходу петли $b'de$, мы найдемъ, что паденіе вдоль отрѣзка de составляетъ пять двѣнадцатыхъ величины паденія вдоль $b'de$,

или 0,0084 V. Откуда находимъ, что $b'd = 0{,}0116$ V и $bcd = 0{,}0116$ V, а такъ какъ мы допускали, что путь cd равняется половинѣ пути bcd, то, опять таки при условіи равномѣрнаго паденія, найдемъ величину паденія вдоль $cd = 0{,}0058$ V. Разность $b'd - cd = 0{,}0058$ V выразитъ собой электродвигательную силу тока наклоненія, производимаго однимъ мышечнымъ волокномъ. (При допущеніи же, что $cd = 35\ \mu$, а $bc = 50\ \mu$ [половина гипотенузы и катетъ], паденіе потенціала вдоль cd будетъ составлять только $^7/_{17}$ всего паденія вдоль bcd или 0,0049 V, а слѣдовательно, $b'd - cd = 0{,}0067$ V).

Такимъ образомъ выходитъ, что достаточно 7—8 мышечныхъ волоконъ, чтобы получить полную электромоторную силу тока наклоненія при отведеніи отъ крайнихъ точекъ, находящихся у тупого и остраго угловъ поперечно перерѣзанной мышцы; очевидно, что это несообразно, такъ какъ ихъ тамъ лежатъ десятки.

Сдѣланные разсчеты, конечно, слишкомъ грубы, чтобы имѣть какое-нибудь иное доказательное значеніе, кромѣ того, что электромоторная сила каждой отдѣльной демаркаціонной плоскости вовсе уже не такая незначительная величина, за которую ее нужно считать согласно теоріи Германа или Дю-Буа Реймона [1]). Съ другой стороны, слѣдуетъ имѣть въ виду, что въ

[1]) При объясненіи токовъ наклоненія въ своемъ учебникѣ (Руков. къ физіол. т. I (1), стр. 352), Германъ, между прочимъ, говоритъ: «До сихъ поръ не было еще доказано, чтобы отдѣльное косо перерѣзанное волокно представляло токъ наклоненія, и это представляется болѣе чѣмъ невѣроятнымъ, *вслѣдствіе чего молекулярная теорія тока наклоненія представляется совершенно излишней*». (Ср. также его Untersuchungen u. s. w. 3 Heft., 1868. S. 49). Я совершенно отказываюсь понимать это мѣсто послѣ того, какъ онъ за нѣсколько строкъ передъ этимъ объясняетъ токи наклоненія «лѣстницеобразнымъ расположеніемъ дѣятельныхъ краевъ» мышечныхъ волоконъ. Дѣйствительно, допуская существованіе демаркаціонной плоскости, занимающей весь поперечникъ волокна, слѣдуетъ допустить, что каждое волокно въ отдѣльности взятое, притомъ безъ принадлежащей ему части соединительнотканныхъ межмышечныхъ прослоекъ и безъ сарколеммы, не можетъ дать тока наклоненія, такъ какъ при этомъ, вслѣдствіе отсутствія побочнаго замыканія, петли тока не будутъ достигать плоскости поперечнаго разрѣза. Но такъ какъ въ дѣйствительности подобной изоляціи волоконъ не существуетъ, ибо вокругъ каждаго изъ нихъ находится слой соединительной ткани, отдѣляющій его отъ

числѣ сдѣланныхъ нами при расчетѣ допущеній два завѣдомо неправильныхъ сдѣланы не въ нашу пользу, а именно: мы предполагали, что паденія потенціала вдоль *ab'* и *ab* равны и составляютъ половину всей электродвигательной силы демаркаціонной плоскости или молекулы, между тѣмъ какъ паденіе потенціала здѣсь должно быть меньше, чѣмъ со стороны, обращенной къ поперечному разрѣзу, такъ какъ сопротивленіе здѣсь несравненно меньше,—благодаря этому паденіе потенціала вдоль *bcde* и *b'de* должно быть больше 0,02 V; кромѣ того, петля *bcde* должна быть слабѣе *b'de* въ виду менѣе значительнаго сопротивленія по ея пути. Вслѣдствіе этого электродвигательная сила для отдѣльнаго мышечнаго волокна должна получиться еще больше.

Теорія Германа очень трудно допустима а priori даже въ томъ случаѣ, если согласиться съ нимъ, что демаркаціонная плоскость отмиранія находится всегда въ отвѣсномъ положеніи по отношенію къ оси волокна. Дѣло въ томъ, что мышечное волокно представляетъ собой въ сущности не что иное, какъ трубочку изъ сарколеммы, наполненную полужидкой мышечной плазмой. При нанесеніи поперечнаго разрѣза это мышечное вещество на кончикѣ волокна немедленно должно сократиться, уменьшиться въ объемѣ, втянуться внутрь, а затѣмъ и свернуться отъ быстро наступающаго процесса умиранія. При такихъ условіяхъ едва-ли можно говорить о какой бы то ни было правильности расположенія поверхности разрѣза каждаго отдѣльнаго волокна, даже если и допустить, что демаркаціонная плоскость сохраняетъ свое правильное расположеніе, а безъ этого невозможно и соотвѣтствующее теоріи Германа распредѣленіе петель тока.

Въ доказательство того, что расположеніе плоскостей, ограничивающихъ раздраженный участокъ съ наружной и внутренней стороны, не играетъ существенной роли при возникновеніи токовъ наклоненія, можно привести еще одинъ доводъ: а именно, Дю-Буа Реймонъ показалъ, что токи наклоненія могутъ быть получены не только въ томъ случаѣ, когда мышцѣ непосредственно дѣлается наклонное сѣченіе, но также и въ томъ случаѣ, если, сдѣлавши мышцѣ два перпендикулярныхъ сѣченія, вытягивать ее за противоположные углы такимъ образомъ, чтобы поперечныя сѣченія приняли наклонное положеніе (т. е. такъ, что мышечный прямоугольникъ принимаетъ форму болѣе или менѣе удлиненнаго параллелограмма), — немедленно же вытягиваемые (острые) углы становятся отрицательными по отношенію къ тупымъ. Аналогичное явленіе наблюдается и въ томъ случаѣ, когда вытягиванію подвергается средина поперечнаго разрѣза. Такимъ образомъ, если, отвѣдя посредствомъ двухъ неполяризующихся электродовъ токъ отъ мышечнаго экватора и средины поперечнаго разрѣза, начать понемногу отодвигать токъ электродъ, который прикасается къ центру поперечнаго разрѣза, причемъ послѣдній начинаетъ вытягиваться за нимъ въ копусъ,— то отрицательность поперечнаго разрѣза усиливается, наоборотъ, при вдавливаніи электрода замѣчается паденіе силы мышечнаго тока.

Всѣ эти явленія объясняются по Дю-Буа Реймону тѣмъ обстоятельствомъ, что при вытягиваніи угла мышцы или средины поперечнаго разрѣза концы перерѣзанныхъ волоконецъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ и электродвигательныя молекулы (resp. демаркаціонныя плоскости) получаютъ уступообразное расположеніе, какъ на поверхности наклоннаго разрѣза [1]). Однако, по моему, съ этимъ довольно трудно согласиться. Вѣдь, если

[1]) Ges. Abh. II, гл. XIX, стр. 183—187.

[c]оѣдникъ, посредствомъ котораго и будетъ совершаться замыканіе тока, то суть дѣла, слѣдовательно, нисколько не мѣняется, и мы должны только допустить, что та часть петли тока, которая проходитъ вакъ разъ надъ демаркаціонной плоскостью, огибая ее (въ томъ мѣстѣ, гдѣ на нашихъ рисункахъ поставлены буквы *b* и *b'*), лежитъ цѣликомъ не въ толщѣ волокна, а въ межмышечной прослойкѣ. Но это, конечно, не мѣняетъ дѣла по существу. Съ другой стороны, принимая во вниманіе, что сарколемма, посредствомъ которой равнымъ образомъ можетъ происходить замыканіе тока, неотъемлемо связана со своимъ мышечнымъ волокномъ, мы должны допустить, что даже изолированное волокно, не лишенное сарколеммы, должно обнаруживать токъ наклоненія, и что, слѣдовательно, демаркаціонная плоскость не занимаетъ весь поперечникъ волокна сплошь, какъ это и изображено на рисункахъ. Во всякомъ случаѣ весьма трудно понять, въ чемъ собственно видитъ Германъ существенное отличіе своего «лѣстницеобразнаго расположенія краевъ» отъ объясненія, даннаго токамъ наклоненія Дю-Буа Реймономъ.

и допустить, что электродвигательныя молекулы или демаркаціонныя плоскости Германа внутри косвенно перерѣзанныхъ волоконъ сохраняютъ перпендикулярное къ ихъ оси положеніе, то довольно трудно понять, почему онѣ должны сохранять это положеніе и при искусственномъ вытягиваніи одного угла въ то время, какъ плоскость поперечнаго разрѣза, долѣ бывшая тоже перпендикулярной по отношеніи къ оси, принимаетъ косвенное положеніе. Особенно трудно понять такое положеніе для демаркаціонной плоскости, которая, являясь ничѣмъ инымъ, какъ поперечной перегородкой мышечнаго волокна, очевидно, должна измѣнить свое перпендикулярное положеніе, если одинъ уголъ этого волокна оттянемъ въ сторону.

Приступая теперь къ объясненію изложенныхъ выше явленій съ точки зрѣнія развиваемой нами диффузіонной теоріи, мы должны искать причину возникновенія токовъ наклоненія въ неодинаковой концентраціи іоновъ CO_3H_2 въ двухъ отводимыхъ участкахъ у вершинъ тупого и остраго угла мышцы, а это обстоятельство можетъ зависѣть отъ двухъ причинъ. Во-первыхъ, мы можемъ думать, что благодаря наложенію поперечнаго разрѣза подъ угломъ создаются условія для неодинаковой степени раздраженія мышечнаго вещества у вершины остраго и тупого угловъ: благодаря неодинаковому раздраженію, дѣятельное состояніе мышечной субстанціи, а вмѣстѣ съ тѣмъ количество вырабатываемыхъ въ томъ и другомъ мѣстѣ продуктовъ обмѣна, гезр. іоновъ угольной кислоты, будетъ различно, и такимъ образомъ будутъ даны условія для разности осмотическихъ давленій CO_3H_2 у вершинъ остраго и тупого угловъ, а слѣдовательно, и для появленія электрическаго тока при отведеніи этихъ мѣстъ въ гальванометръ [1]). Во-вторыхъ, можно предполагать, что хотя степень раздраженія мышечнаго вещества, а вмѣстѣ съ тѣмъ и количество CO_3H_2, вырабатываемой на поверхности поперечнаго разрѣза у вершины тупого и остраго угла, одинаковы, но условія для распредѣленія образующихся іоновъ въ окружающемъ веществѣ мышцы у того и другого угла таковы, что концентраціи ихъ въ этихъ мѣстахъ будетъ различна.

[1]) Такого именно взгляда держался раньше Германъ. (Untersuchungen u. s. w. 2, SS. 24—25).

Что касается перваго предположенія, то никакихъ данныхъ въ пользу его мы подыскать не можемъ, и а ргіогі оно представляется въ высшей степени маловѣроятнымъ, такъ какъ, дѣлается ли поперечный разрѣзъ подъ прямымъ угломъ, или наклонно къ оси мышцы, во всякомъ случаѣ слѣдуетъ предположить, что и въ томъ, и въ другомъ случаѣ концы перерѣзанныхъ мышечныхъ волоконецъ будутъ находиться въ одной и той же (максимальной) степени раздраженія какъ въ области тупого, такъ и въ раіонѣ остраго угла, поэтому количество вырабатываемой здѣсь CO_3H_2 должно быть одно и то же.

Съ другой же стороны легко убѣдиться, что распространеніе образующейся на раздраженной поверхности поперечнаго разрѣза угольной кислоты въ мышечномъ веществѣ болѣе ограничено въ области остраго, чѣмъ у тупого угла, такъ какъ объемъ, въ которомъ могутъ распредѣляться образующіеся іоны CO_3H_2 у остраго угла меньше, чѣмъ у тупого.

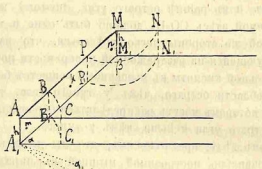
Въ самомъ дѣлѣ, предположимъ, что мы имѣемъ дѣло съ идеально правильно построенной мышцей съ параллельнымъ ходомъ волоконъ, въ формѣ удлиненнаго параллелипипеда, на концѣ которой сдѣланъ косой поперечный разрѣзъ подъ угломъ α къ оси мышцы (фиг. 13). Возьмемъ на поверхности поперечнаго разрѣза, въ ближайшемъ разстояніи отъ вершины остраго угла $A = \alpha^0$, весьма малый элементъ поверхности m, величиной, напр., въ 1 кв. миллиметръ. Этотъ элементъ поверхности находится въ максимальной степени раздраженія, и благодаря этому вырабатываетъ въ единицу времени нѣкоторое количество угольной кислоты, которая и распредѣляется болѣе или менѣе равномѣрно въ покойномъ мышечномъ веществѣ, прилежащемъ къ элементу m, въ видѣ іоновъ $\overline{CO_3}$ и $\overset{+}{H}$. Совершенно то же будетъ, очевидно, происходить и у вершины тупого угла, гдѣ мы можемъ взять такой же элементъ на поверхности поперечнаго разрѣза (n). Но въ то время какъ у вершины остраго угла для распредѣленія образующихся іоновъ имѣется свободное пространство $ABCC_1A_1B_1$, у вершины ту-

пого угла іоны будутъ распредѣляться въ значительно большемъ объемѣ $MNPP_1M_1N_1$.

Описывая изъ вершины угла A весьма малымъ радіусомъ $r = AB$ окружность, мы найдемъ, что объемъ цилиндрическаго сектора $ABCC_1A_1B_1$, въ которомъ должна распредѣлиться вырабатываемая прилежащей частью поверхности поперечнаго разрѣза ABB_1A_1 угольная кислота, равенъ:

$$V = \frac{\pi r^2 h \alpha^\circ}{360^\circ},$$

Фиг. 13.



гдѣ h высота параллелипипеда, а α° величина уже A въ градусахъ. Объемъ подобнаго же сектора $MNPP_1M_1N_1$, находящагося у вершины тупого угла $M = \beta$, выразится:

$$V_1 = \frac{\pi r^2 h \beta^\circ}{360^\circ},$$

Такъ какъ прилежащія къ обоимъ этимъ отрѣзкамъ части поверхности поперечнаго ABB_1A_1 и MPP_1M_1, при одномъ и томъ же радіусѣ r, равны, то и количество угольной кислоты, приходящееся на тотъ и другой изъ нихъ, будетъ одинаково, но такъ какъ объемы ихъ различны, то концентрація распредѣляющейся въ нихъ CO_3H_2 будетъ, очевидно, обратно пропорціональна этимъ объемомъ. Обозначая концентрацію, resp. осмотическія давленія іоновъ CO_3H_2, у вершины остраго

и тупого угловъ черезъ p и p_1, мы будемъ такимъ образомъ имѣть:

$$\frac{p}{p_1} = \frac{V_1}{V} = \frac{\beta}{\alpha},$$

т. е. *при наклонномъ положеніи поперечнаго сѣченія мышцы концентрація іоновъ, или осмотическое давленіе угольной кислоты у вершинъ тупого и остраго угловъ должно быть обратно пропорціонально величинѣ этихъ угловъ.*

Такимъ образомъ понятно, что чѣмъ острѣе будетъ уголъ α, тѣмъ больше должна быть концентрація угольной кислоты у его вершины, и тѣмъ больше будетъ возникающая при этомъ разность потенціала.

Равнымъ образомъ становятся понятными тѣ измѣненія потенціала, которыя наблюдаются при вышеописанныхъ опытахъ Дю-Буа Реймона съ вытягиваніемъ угловъ или средины поперечнаго разрѣза въ конусъ. Очевидно, что по мѣрѣ вытягиванія въ конусъ должно измѣняться соотношеніе между раздраженной поверхностью, гдѣ вырабатывается CO_3H_2, и объемомъ, въ которомъ она распредѣляется, причемъ чѣмъ больше вытянутъ конусъ (уголъ α меньше), тѣмъ больше становится поверхность по отношенію къ объему, и, слѣдовательно, тѣмъ сильнѣе осмотическое давленіе и тѣмъ болѣе отрицательно будетъ это мѣсто; при вдавливаніи электрода ($\alpha^\circ > 90^\circ$) отношенія будутъ обратныя.

Если мышца по формѣ приближается къ болѣе или менѣе правильному параллелипипеду съ параллельнымъ ходомъ волоконъ, то уголъ β будетъ дополнительнымъ до 180° къ α, т. е. $\beta = 180^\circ - \alpha$; подставляя это въ найденное выше равенство, мы получимъ:

$$\frac{p}{p_1} = \frac{180 - \alpha}{\alpha}.$$

Такимъ образомъ, зная величину угла, подъ которымъ дѣлается поперечный разрѣзъ мышцы, можно найти отношеніе осмотическихъ давленій CO_3H_2 у вершинъ тупого и остраго угловъ, а слѣдовательно, и вычислить электромоторную силу тока, который долженъ получиться при отведеніи отъ этихъ мѣстъ.

Пользуясь основной формулой мышечныхъ токовъ (α, гл. III):

$$E = 0{,}043 \log \frac{p}{p_1},$$

и подставляя вмѣсто $\frac{p}{p_1}$ отношеніе угловъ $\frac{180-\alpha}{\alpha}$, мы получимъ:

$$E = 0{,}043 \log \frac{180^0-\alpha}{\alpha}.$$

По этой формулѣ мы можемъ вычислить электродвигательную силу тока наклоненія, если дана величина угла α, подъ которымъ дѣлается разрѣзъ, и если притомъ отводимыя мѣста на поверхности поперечнаго разрѣза (m и n) находятся у самыхъ вершинъ тупого и остраго угловъ, такъ какъ допустить, что образующаяся на поверхности разрѣза CO_3H_2 равномѣрно распредѣлится внутри участковъ $ABCC_1A_1B_1$ и $MNPP_1M_1N_1$, какъ это мы дѣлали при выводѣ нашей формулы, можно только при томъ условіи, если эти участки весьма малы.

Здѣсь я привожу параллельную таблицу, въ которой сопоставлены величины электродвигательной силы, вычисленныя по вышеприведенной формулѣ для токовъ наклоненія при разныхъ значеніяхъ угла α, съ дѣйствительно найденными мною величинами для различныхъ мышцъ лягушки. Въ таблицѣ сопоставлено два ряда теоретически вычисленныхъ величинъ электродвигательной силы: первый столбецъ вычисленъ по формулѣ: $E = 0{,}043 \log \frac{180-\alpha}{\alpha}$, которая должна имѣть мѣсто при томъ предположеніи, что мышечный токъ зависитъ отъ диффузіи угольной кислоты CO_3H_2, второй же столбецъ заключаетъ цифры, полученныя по формулѣ (β, гл. III): $E = 0{,}058 \log \frac{180-\alpha}{\alpha}$, которая примѣнима при допущеніи, что развитіе тока происходитъ на счетъ диффузіи однихъ только положительныхъ іоновъ $\overset{+}{H}$.

По соображеніямъ, подробнѣе указаннымъ въ третьей главѣ, послѣднія цифры, быть можетъ, заслуживаютъ большаго предпочтенія; и дѣйствительно, какъ видно изъ таблицы, онѣ, повидимому, ближе къ цифрамъ, полученнымъ при прямомъ измѣреніи электродвигательной силы этихъ токовъ.

Величина электродвигательной силы токовъ наклоненія нѣкоторыхъ мышцъ при разныхъ величинахъ угла разрѣза α^0, въ вольтахъ.

Названіе мышцъ.	$\alpha = 60^0$	$\alpha = 45^0$	$\alpha = 30^0$
Rectus internus . . .	0,014	0,026	0,036
Gastrocnemius	0,015	0,025	0,039
Sartorius	0,015	0,027	0,040
Среднее для всѣхъ .	0,015	0,026	0,038
Величина, вычисленная по формулѣ (α) для CO_3H_2	0,013	0,020	0,030
Величина, вычисленная по формулѣ (β) для $\overset{+}{H}$	0,017	0,027	0,040

Измѣреніе электромоторной силы, какъ и при измѣреніяхъ демаркаціоннаго тока, производилось мною при этомъ обычнымъ компенсаціоннымъ способомъ съ элементомъ Даніеля (насыщенные растворы SO_4Cu и NaCl) въ качествѣ эталона, причемъ полученныя цифры перечислены потомъ на вольты. Препаратъ мышцы приготовлялся съ соблюденіемъ описанныхъ въ предыдущей главѣ предосторожностей. Особыя старанія должны быть прилагаемы къ тому, чтобы не повредить какъ-нибудь поверхность мышцы при ея изоляціи. Дѣло въ томъ, что во всѣхъ предыдущихъ разсужденіяхъ предполагалось, что распредѣляющая въ области тупого и остраго угловъ угольная кислота продуцируется исключительно на поверхности поперечнаго разрѣза, и отсюда уже проникаетъ въ глубь, въ участки $ABCC_1A_1B_1$ и $MNPP_1M_1N_1$, гдѣ она и распредѣляется равномѣрно; между тѣмъ въ дѣйствительности углекислота всегда образуется въ большемъ или меньшемъ количествѣ самымъ веществомъ вырѣзанной мышцы, даже если она и находится «въ покоѣ», но количество ея въ покойной мышцѣ настолько незначительно по сравненіи съ коли-

чествомъ, образующимся на поверхности разрѣза, что оно можетъ быть оставлено безъ вниманія, но если случайно окажется хотя-бы самое незначительное поврежденіе продольной поверхности мышцы вблизи одного изъ отводимыхъ угловъ, то очевидно, что это обстоятельство можетъ оказать чрезвычайно сильное вліяніе на электродвигательную силу получающагося тока наклоненія, такъ какъ при этомъ въ отводимый участокъ у одного изъ угловъ будетъ проникать угольная кислота не только съ прилегающей небольшой части поверхности поперечнаго разрѣза, но и съ продольной поверхности мышцы, причемъ количество послѣдней можетъ оказаться по размѣрамъ больше, чѣмъ первой.

Что касается до способа нанесенія самаго поперечнаго разрѣза, то оно производилось мною тоже такимъ же образомъ, какъ и для полученія обыкновеннаго демаркаціоннаго тока при перпендикулярномъ сѣченіи, т. е. мышца перерѣзалась однимъ ударомъ скальпеля или ножницъ, послѣ предварительнаго расправленія на картонѣ или бумагѣ, причемъ перерѣзалась и самая бумага. Только для правильнаго наложенія косого разрѣза подъ тѣмъ именно угломъ, какой нуженъ, необходимо предварительно начертить этотъ уголъ на бумагѣ, и затѣмъ уложить мышцу такъ, чтобы боковая сторона ея совпадала съ одной стороной угла, а положеніе скальпеля или ножницъ при разрѣзѣ шло вдоль другой.

Вслѣдъ за нанесеніемъ поперечнаго разрѣза мышца впадаетъ въ тоническое сокращеніе, благодаря которому можетъ быть нарушена правильная конфигурація разрѣза. Поэтому необходимо передъ измѣреніемъ удостовѣриться, что правильное расположеніе мышцы не нарушено, и что разрѣзъ сохраняетъ свою форму и направленіе, такъ какъ часто случается, что острые кончики угловъ втягиваются вслѣдствіе сокращенія и самостоятельно не возвращаются въ первоначальное состояніе; въ такихъ случаяхъ лучше всего удается расправить мышцу при помощи двухъ кусочковъ картона, которыми стараются придать разрѣзу прежній видъ. Чтобы воспрепятствовать этому смѣщенію мышцы вслѣдствіе сокращенія при перерѣзываніи, можно, положивши ее на картонъ, подождать

нѣкоторое время съ перерѣзываніемъ, тогда перерѣзаніе не такъ сильно на нее дѣйствуетъ, и кромѣ того она успѣетъ немного подсохнуть снаружи и прилелится нѣсколько сама собой къ картону. Такое промедленіе не дѣйствуетъ замѣтнымъ образомъ на силу тока, которая вообще держится на одной высотѣ довольно долго даже послѣ нанесенія разрѣза (во влажной камерѣ — часъ и больше), но только при этомъ необходимо наблюдать за тѣмъ, чтобы поверхность поперечнаго разрѣза сохраняла все время строго плоскій ровный видъ, такъ какъ часто случается, что средина поперечнаго разрѣза приклевшейся мышцы втягивается воронкообразно внутрь, причемъ величина угловъ мѣняется.

Въ отношеніи способа отведенія тока и производства измѣреній слѣдуетъ замѣтить, что его необходимо производить такимъ образомъ, чтобы возможно тонкіе наконечники электродовъ легко и безъ вдавливанія прикасались *къ поверхности поперечнаго разрѣза у вершины тупого и остраго угловъ, но не заходя на неповрежденную внѣшнюю поверхность угла*, такъ какъ здѣсь, благодаря присутствію болѣе или менѣе толстаго слоя индифферентныхъ соединительнотканныхъ оболочекъ, покрывающихъ мышцу снаружи, возможны значительныя неправильности распредѣленія образующейся на поверхности разрѣза CO_2H_2. Это послѣднее обстоятельство необходимо всегда имѣть въ виду, такъ какъ при производствѣ измѣреній легко убѣдиться, что очень часто достаточно бываетъ малѣйшаго перемѣщенія электрода къ неповрежденной внѣшней сторонѣ угла, чтобы вызвать рѣзкое измѣненіе электромоторной силы тока [1]).

Вообще полученіе точныхъ цифръ при измѣреніи токовъ наклоненія представляетъ весьма трудную задачу, что впрочемъ и не удивительно, такъ какъ заостренныя вершины угловъ, отъ которыхъ производится отведеніе тока, представляютъ, вслѣдствіе ихъ тонкости и незначительныхъ размѣровъ, участки, настолько легко подвергающіеся вліянію всякихъ инсультовъ, что часто бываетъ достаточно неосторожнаго прижатія глиняныхъ электродовъ, чтобы измѣнить конфигурацію отводимаго мѣста, и вмѣстѣ съ тѣмъ его объемное отношеніе

[1]) О главной причинѣ этого явленія сказано ниже, въ гл. VI и VII.

къ поверхности поперечнаго разрѣза, а слѣдовательно, и осмотическое давленіе распредѣляющихся въ немъ іоновъ CO_3H_2, не говоря уже о томъ, что эти нѣжные участки легко могутъ быть поражены или даже совсѣмъ разрушены при малѣйшей неосторожности во время нанесенія поперечнаго разрѣза, подвергнуться неравномѣрному отмиранію и т. д.

Если бы не совокупность всѣхъ этихъ обстоятельствъ, неблагопріятно вліяющихъ на точность получающихся цифровыхъ данныхъ, то токи наклоненія могли бы служить самымъ лучшимъ пробнымъ камнемъ для развиваемой нами теоріи диффузіоннаго происхожденія мышечныхъ токовъ, такъ какъ здѣсь намъ дана полная возможность по произволу мѣнять условія опыта, дѣлая поперечный разрѣзъ подъ любымъ угломъ, по своему усмотрѣнію. Однако, благодаря всѣмъ вышеуказаннымъ причинамъ, могущимъ вліять на точность результата, здѣсь можно чрезвычайно легко впасть въ грубыя ошибки, а потому вообще при этихъ измѣреніяхъ слѣдуетъ довѣрять только среднимъ числамъ изъ цѣлаго ряда наблюденій, причемъ зачастую могутъ получаться довольно значительныя колебанія въ ту или другую сторону, но во избѣжаніе самообмана ихъ необходимо принимать въ общій счетъ, кромѣ тѣхъ случаевъ, конечно, когда причина чрезмѣрнаго уклоненія отъ нормы совершенно очевидна. Такъ именно поступалъ я при составленіи вышеприведенной таблицы [1]).

[1]) Благодаря большой чувствительности препарата и многочисленности возможныхъ причинъ ошибокъ, здѣсь очень легко впасть въ самообманъ и увидѣть именно то, что желаемъ видѣть, тамъ, гдѣ его можетъ и не быть. Жертвой такого самообмана сдѣлался, между прочимъ, и я. Семь лѣтъ тому назадъ, когда первый разъ вывелъ вышеприведенную формулу для вычисленія электромоторной силы токовъ наклоненія и приступилъ къ повѣркѣ ея на опытѣ, мной было получено такое близкое совпаденіе между опытными и теоретическими величинами (см. мою статью въ Неврол. Вѣстн. Т. VI, вып. I, 1898 г.), какого теперь, при болѣе основательной постановкѣ опытовъ, мнѣ никогда не удавалось получить, и какое даже маловѣроятно для физіологическаго опыта, гдѣ приходится имѣть дѣло все-таки съ живой тканью, а не съ какимъ-нибудь гальваническимъ элементомъ или аккумуляторомъ. Объясняется это просто тѣмъ обстоятельствомъ, что при подобнаго рода опытахъ, когда, желая провѣрить вычисленную величину, при дѣйствительномъ измѣреніи получаешь неожиданно значительное отклоненіе отъ нея, — невольно начинаешь искать причину ошибки въ неправильной постановкѣ опыта: немного сдвинешь одинъ электродъ, прижмешь другой, поправишь препаратъ и т. п., а между тѣмъ, какъ

Наибольшія колебанія въ ту и другую сторону даютъ m. sartorius и rectus internus, несмотря на то, что они больше всего по строенію своему и формѣ приближаются къ правильному параллелипипеду, что впрочемъ и понятно, такъ какъ изолировать эти мышцы безъ поврежденія почти не представляется возможнымъ; напротивъ, такая неправильная мышца, какъ gastrocnemius даетъ почти всегда вполнѣ удовлетворительные результаты, благодаря тому, что ее очень легко изолировать безъ поврежденія поверхности,—необходимо только при наложеніи косого поперечнаго разрѣза обращать вниманіе на то, чтобы онъ приходился въ томъ мѣстѣ, гдѣ волокна идутъ наиболѣе параллельно, что соотвѣтствуетъ приблизительно верхней трети ея. Вообще же, какъ это видно изъ таблицы, при измѣреніи электродвигательной силы токовъ наклоненія получаются цифры, нѣсколько большія, чѣмъ слѣдуетъ изъ теоріи, если пользоваться для вычисленія формулой (α) для диффузіоннаго тона угольной кислоты; если же пользоваться формулой (β) для диффузіи одного водорода, то совпаденіе гораздо ближе.

Остается только сказать нѣсколько словъ относительно того, почему мѣсто наибольшаго отрицательнаго напряженія помѣщается на поверхности поперечнаго разрѣза нѣсколько отступя отъ вершины острагo угла, а не совпадаетъ съ самой вершиной какъ это слѣдуетъ изъ теоріи. Тутъ могутъ вліять три причины: 1) на тонкой верхушкѣ остраго угла условія для выдѣленія образующейся углекислоты въ наружный воздухъ настолько благопріятны, что значительная часть ея, навѣрное, удаляется прочь этимъ путемъ, вслѣдствіе чего осмотическое давленіе ея здѣсь, а слѣдовательно, и сила тока при отведеніи отъ этого мѣста, будутъ меньше, чѣмъ слѣдуетъ изъ теоріи, 2) благодаря своеобразному распредѣленію петель токовъ у краевъ поперечнаго

указано выше, при этомъ самыя незначительныя перемѣщенія способны сильно вліять на величину электродвигательной силы тока наклоненія, такъ что очень легко получить въ концѣ концовъ искомую величину. Поэтому, для избѣжанія самообмана, никогда не слѣдуетъ поправлять электроды послѣ однажды произведеннаго отсчета, и вообще производить вторичный отсчетъ, а прямо записывать полученную величину — развѣ только она уже очень несообразна, и причина несообразности внѣ всякаго сомнѣнія.

разрѣза, о которой была рѣчь въ предыдущей главѣ (стр. 103), положительное напряженіе мѣстъ, лежащихъ у краевъ, усиливается [1]), 3) у краевъ поперечнаго разрѣза собственно мышечные элементы менѣе скучены, а потому осмотическое давленіе CO_3H_2, главнымъ образомъ вырабатываемой ими, тоже должно оказаться пониженнымъ (ср. выше, стр. 116). Однако изъ этого не слѣдуетъ, чтобы мы для полученія необходимыхъ намъ данныхъ о величинѣ электромоторной силы токовъ наклоненія, вычисленной на основаніи вышеприведенной формулы, должны были брать для отведенія именно это мѣсто съ наибольшимъ отрицательнымъ напряженіемъ, а не вершину остраго угла; дѣло въ томъ, что хотя, благодаря вышеуказаннымъ причинамъ, отрицательность у самой вершины остраго угла и оказывается нѣсколько пониженной, но тѣ же самыя обстоятельства дѣйствуютъ въ большей или меньшей степени и у вершины тупого угла, такъ что они взаимно уравновѣшиваютъ другъ друга, тогда какъ отодвигая электродъ отъ вершины угла по направленію къ центру поперечнаго разрѣза, мы уже будемъ производить измѣреніе при условіяхъ, уклоняющихся отъ тѣхъ, на основаніи которыхъ была выведена наша формула [2]).

[1]) Согласно соображеніямъ, изложеннымъ въ 4-й главѣ, я вообще придаю очень малое значеніе вліянію петель, проходящихъ въ индифферентныхъ соединительнотканныхъ частяхъ мышцы.

[2]) Какъ сказано выше, на самомъ дѣлѣ приходится отводить токъ не отъ самыхъ верхушекъ тупого и остраго угловъ, а отъ точекъ, лежащихъ на поперечномъ разрѣзѣ, чуть-чуть отступя отъ вершинъ *того и другого* угловъ, но это мы дѣлаемъ только въ виду совершенной невозможности получить сколько-нибудь постоянныя данныя при отведеніи отъ самыхъ вершинъ поперечнаго ихъ легкой повреждаемости и проч. (см. выше).

Глава VI.

Токи конусообразныхъ мышцъ.

Какъ было уже изложено въ первой главѣ, конусообразныя мышцы, т. е. такія, мясистая часть которыхъ, постепенно суживаясь по мѣрѣ приближенія къ сухожилію, напоминаетъ по формѣ своей болѣе или менѣе правильный конусъ (m. triceps и m. gastrocnemius лягушки), представляютъ своеобразное распредѣленіе электрическаго потенціала на своей поверхности. Эту особенность лучше всего наблюдать на икроножной мышцѣ лягушки (m. gastrocnemius), которая по формѣ своей очень близко подходитъ къ довольно правильному конусу, и благодаря своей легкой препаруемости чаще всего служила объектомъ подобнаго рода наблюденій.

Если отводить въ гальванометръ разныя точки этой мышцы, то окажывается, что экваторъ ея, т. е. линія съ наибольшимъ положительнымъ напряженіемъ, не раздѣляетъ мышцу пополамъ, какъ это наблюдается на портняжной и на другихъ болѣе или менѣе правильно построенныхъ мышцахъ, а находится почти на концѣ противоположномъ ахиллову сухожилію, въ 2—3 mm. отъ верхняго ея сухожилья, прикрѣпляющагося къ tibia. По мѣрѣ удаленія отъ этой линіи экватора положительность отводимыхъ мѣстъ быстро падаетъ по направленію къ обоимъ сухожильнымъ концамъ, которые являются отрицательными по отношенію ко всѣмъ точкамъ, лежащихъ между ними и экваторомъ. Однако степень этой отрицательности не одинакова для верхняго и нижняго сухожильныхъ концовъ: послѣдній является наиболѣе отрицательной частью всей мышцы, такъ что при отведеніи отъ экватора и ахиллова сухожилья электродвигательная сила получается наибольшая, и значительно больше,

чѣмъ при отведеніи отъ экватора и верхняго сухожильнаго конца; точно также, при отведеніи отъ верхняго и нижняго сухожильныхъ концовъ мышцы, послѣдній оказывается отрицательнымъ по отношенію къ первому, такъ что гальванометръ обнаруживаетъ въ мышцѣ присутствіе восходящаго тока.

Всѣ эти отношенія объясняются по Дю-Буа Реймону своеобразнымъ строеніемъ и ходомъ волоконъ въ икроножной мышцѣ (фиг. 14). На рисункѣ видно, что въ то время, какъ нижніе концы волоконъ прикрѣпляются косыми фасетками къ ахиллову сухожилію a и идущему отъ него вверхъ апоневрозу D, верхніе ихъ концы, загибаясь внутрь, прикрѣпляются къ

Фиг. 14.

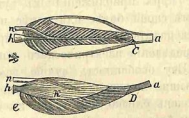


Схема строенія икроножной мышцы лягушки по Дю-Буа Реймону.

внутреннему сухожильному растяженію k. Такъ какъ отрицательность концовъ мышечныхъ волоконъ зависитъ по Дю-Буа Реймону отъ предсуществованія на обоихъ концахъ каждаго волокна источника электромоторной силы въ формѣ электродвигательной молекулы, обращенной отрицательнымъ своимъ полюсомъ наружу, то очевидно, что при отведеніи отъ какой-нибудь точки, находящейся у нижняго сухожильнаго конца D, «отрицательность» ея будетъ больше, чѣмъ при отведеніи отъ какой-нибудь точки, находящейся вблизи верхняго сухожилья h, ибо въ первомъ случаѣ отводящій электродъ прямо соприкасается съ отрицательнымъ полюсомъ молекулы-элемента, а во второмъ — отводитъ отъ него токъ при посредствѣ побочнаго замыкающаго проводника, каковымъ въ данномъ случаѣ является сухожилье h и сухожильное растяженіе k,

такъ что отъ нижней молекулы въ гальванометръ отвѣтвляется болѣе сильная (восходящая) петля тока, благодаря чему и получается восходящій мышечный токъ. Точно также ясно, почему экваторъ (e) находится ближе къ верхнему концу мышцы, ибо при такомъ положеніи отводящій электродъ будетъ находиться на естественномъ продольномъ сѣченіи мускула, которое по Дю-Буа Реймону положительно по отношенію къ поперечнымъ, тогда какъ при отведеніи отъ средины икроножной мышцы (i) положительный электродъ былъ бы приложенъ все-таки къ концу одного изъ мышечныхъ волоконъ (ср. также фиг. 3, гл. I).

Съ точки зрѣнія теоріи Германа такое объясненіе непримѣнимо, такъ какъ согласно этой теоріи отрицательность отводимаго мѣста связывается не съ тѣмъ обстоятельствомъ, въ какомъ отношеніи находится оно къ концу мышечнаго волокна, а со степенью его поврежденія, такъ что по этой теоріи совершенно безразлично, отводится ли токъ отъ a, h, e или отъ i, если только степень раздраженія мышечной субстанціи въ этихъ мѣстахъ вездѣ одинакова. Такъ какъ при обычномъ способѣ приготовленія препарата икроножной мышцы вся поверхность его инсультируется приблизительно въ одинаковой степени, то съ этой стороны слѣдовало бы ожидать полнаго отсутствія тока въ гальванометрѣ при отведеніи отъ какихъ угодно двухъ точекъ, какъ бы онѣ ни были расположены по отношенію другъ къ другу и къ концамъ мышцы [1]). А такъ какъ токъ тѣмъ не менѣе существуетъ, то Герману пришлось искать другое ему объясненіе. Онъ и разсматриваетъ его, какъ особый случай тока наклоненія, происходящій вслѣдствіе того, что на поврежденныхъ при обнаженіи мышцы и отъ дѣйствія попавшаго въ рану ѣдкаго кожнаго отдѣляемаго кончикахъ мышечныхъ волоконъ образуются демаркаціонныя плоскости отмиранія, которыя располагаются перпендикулярно оси каждаго волокна, а слѣдовательно, уступообразно

[1]) Предполагая, что мышца отводится въ гальванометръ in situ; такъ какъ въ случаѣ вырѣзанной мышцы и по Герману могутъ возникнуть самостоятельныя петли демаркаціоннаго тока отъ поврежденныхъ при перерѣзкѣ концовъ ея.

другъ надъ другомъ, совершенно такъ же, какъ при искусственномъ поперечномъ сѣченіи мышцы, произведенномъ наклонно къ ея оси (ср. фиг. 3 и 8).

Описанные выше токи совсѣмъ не наблюдаются на такихъ мышцахъ, при обнаженіи которыхъ были приняты всѣ предосторожности къ тому, чтобы не повредить ихъ поверхности (для этого нужно снять кожу цѣликомъ со всей лягушки сразу, чтобы не дать возможности попасть на поверхность мышцы ѣдкому соку кожныхъ железъ), и усиливаются при смазываніи кожи ѣдкими веществами (напр. слабымъ растворомъ кислоты). Явленіе это, какъ уже указано выше (гл. I), объясняется Дю-Буа Реймономъ присутствіемъ особаго парэлектроническаго слоя на поверхности мышцы, который препятствуетъ проявленію тока наружу, но легко разрушается подъ вліяніемъ внѣшнихъ агентовъ, а по Герману—просто тѣмъ, что на неповрежденной мышцѣ нѣтъ условій для развитія демаркаціонной плоскости отмиранія на концахъ волоконецъ. Впрочемъ, послѣ открытія токовъ наклоненія (1863) и Дю-Буа Реймонъ сталъ разсматривать восходящій токъ икроножной мышцы, какъ токъ наклоненія, съ тою только разницею, что здѣсь уступообразное расположеніе молекулъ создается не ударомъ ножа, какъ въ первомъ случаѣ, а уничтоженіемъ парэлектрономическаго слоя путемъ прижиганія.

Такой взглядъ даетъ возможность объяснять суммированіемъ петель тока, происходящихъ отъ отдѣльныхъ молекулъ, то обстоятельство, что восходящій токъ икроножной мышцы можетъ часто больше чѣмъ вдвое превышать обыкновенный токъ, получающійся при отведеніи отъ поперечнаго разрѣза и экватора правильно построенныхъ мышцъ, какъ m. sartorius.

Соотвѣтственно съ такими воззрѣніями на токи конусообразныхъ мышцъ, какъ на токи наклоненія, противъ нихъ можно выставить тѣ же возраженія, которыя были приведены въ предыдущей главѣ по отношенію къ этимъ послѣднимъ, а именно, во-первыхъ, непропорціональность величинъ электродвигательной силы, получаемой при отведеніи отъ двухъ точекъ, находящихся на одномъ и томъ же разстояніи одна отъ другой, но взятыхъ въ одномъ случаѣ на продольной поверх-

ности мышцы вблизи вершины мышечнаго конуса (ахиллово сухожилье), а въ другомъ — ближе къ мышечному экватору (см. ниже таб. III и IV на стр. 175), а во-вторыхъ,—несоотвѣтственно малая величина дѣйствительно наблюдаемой электродвигательной силы при отведеніи отъ ахиллова сухожилья и экватора съ той величиной, которая должна была бы наблюдаться по приблизительному разсчету, если бы здѣсь дѣйствительно дѣло шло о суммированіи петель тока, происходящихъ отъ поперечнаго разрѣза каждаго мышечнаго волоконца.

Поэтому намъ едва-ли нужно еще разъ останавливаться на этомъ пунктѣ, и мы можемъ прямо приступить къ разсмотрѣнію вопроса съ точки зрѣнія развиваемыхъ нами взглядовъ о неравномѣрномъ наклоненіи іоновъ CO_3H_2, какъ причинѣ возникновенія діффузіоннаго мышечнаго тока.

Какъ упомянуто выше, сильный восходящій токъ на конусообразныхъ мышцахъ появляется только тогда, когда повреждается ихъ поверхность, которая приходитъ въ извѣстную степень раздраженія, причемъ въ ней необходимо должны появиться продукты обмѣна, которые и могутъ дать начало току.

Подобно тому какъ при токахъ наклоненія здѣсь мыслими двѣ причины, обусловливающія неравномѣрное накопленіе продуктовъ регрессивнаго метаморфоза въ двухъ отводимыхъ въ гальванометръ мѣстахъ продольной поверхности мышцы: неодинаковая степень раздраженія мышечнаго вещества въ томъ и другомъ мѣстѣ, или неодинаковыя условія для распредѣленія ихъ въ окружающей ткани и выдѣленія наружу, хотя-бы абсолютное количество ихъ, образующееся въ единицу времени въ томъ и другомъ мѣстѣ, было одинаково.

Неравномѣрное раздраженіе отводимыхъ въ гальванометръ двухъ точекъ продольной поверхности мышцы можетъ быть вызвано, очевидно, только такимъ способомъ приготовленія препарата, когда при препаровкѣ одно мѣсто будетъ больше инсультировано, чѣмъ другое. При такой же постановкѣ опыта, которая примѣнялась при изготовленіи нашихъ препаратовъ

БИБЛІОТЕКА

(см. ниже),—и которая только и можетъ быть примѣнима въ тѣхъ случаяхъ, когда хотимъ производить точныя измѣренія тока, — мышца сначала вырѣзывается безъ малѣйшаго поврежденія ея поверхности (путемъ снятія кожи цѣликомъ), причемъ на ней совсѣмъ не наблюдается токовъ, и только послѣ кратковременнаго погруженія въ слабый растворъ кислоты она даетъ сильный восходящій токъ, который, такимъ образомъ, появляется при совершенно равномѣрномъ раздраженіи всей ея поверхности. Поэтому намъ остается только искать причину сильнаго электромоторнаго дѣйствія приготовленныхъ такимъ образомъ препаратовъ конусообразныхъ мышцъ *въ неравномѣрномъ распредѣленіи въ болѣе глубокихъ частяхъ мышцы продуктовъ метаморфоза, вырабатываемыхъ равномѣрно раздраженнымъ мышечнымъ веществомъ на поверхности мускула.*

Что касается до причины этого неравномѣрнаго накопленія продуктовъ обмѣна, и въ частности угольной кислоты въ разныхъ мѣстахъ мышцы, то она въ свою очередь можетъ быть двоякаго рода: во-первыхъ, образуемая CO_2H_2 можетъ изъ одного мѣста удаляться прочь съ большей легкостью, чѣмъ изъ другого, гдѣ она почему-либо задерживается, во-вторыхъ, и въ томъ случаѣ, когда въ единицу времени въ обоихъ мѣстахъ и образуется, и удаляется прочь одно и то же абсолютное ея количество, степень концентраціи, resp. осмотическое давленіе ея въ окружающей жидкости можетъ быть различно, если объемъ жидкости, гдѣ она распредѣляется, въ томъ и другомъ мѣстѣ различенъ.

Несомнѣнно, что объ эти причины оказываютъ свое вліяніе въ разбираемомъ нами случаѣ восходящаго тока конусообразныхъ мышцъ, хотя далеко не въ одинаковой степени.

Въ самомъ дѣлѣ, конусообразныя мышцы лягушки, возьмемъ ли мы triceps или gastrocnemius, представляютъ ту особенность строенія, что нижняя суживающаяся часть ихъ покрыта болѣе или менѣе плотнымъ апоневрозомъ, который по направленію къ верху быстро разрыхляется. Очевидно, что при такихъ условіяхъ углекислота, вырабатываемая раздраженными мышечными элементами поверхности, легче будетъ выдѣляться наружу въ верхнихъ, ближайшихъ къ экватору участкахъ ея, чѣмъ въ нижнихъ, прилежащихъ къ сухожилью, гдѣ апоневрозъ отличается особеннымъ развитіемъ; поэтому въ нижнихъ отдѣлахъ мышцы должна распредѣляться въ подлежащей ткани болѣе значительная часть CO_2H_2, чѣмъ это имѣетъ мѣсто у экватора. Однако это обстоятельство не можетъ играть рѣшающей роли въ производствѣ восходящаго тока triceps'a и gastrocnemius'a лягушки на томъ основаніи, что, какъ легко убѣдиться разрѣзавши мышцу вдоль ея длины ножницами, болѣе значительная толщина апоневротическаго растяженія даже у ирконожной мышцы имѣется только въ самой нижней части на протяженіи 2—3 mm. отъ сухожилья, выше же апоневрозъ тянется слоемъ почти равномѣрной толщины до самаго экватора, между тѣмъ на всемъ этомъ протяженіи замѣчается рѣзкое измѣненіе потенціала. Съ другой стороны, можно разрушить до нѣкоторой степени покрывающій мускулъ аневрозъ на всемъ протяженіи, погрузивши, напр., мышцу на 1—2 минуты въ 1% растворѣ ѣдкой щелочи, или же въ желудочный сокъ,—въ томъ и другомъ случаѣ однако гальванометръ обнаруживаетъ присутствіе тока, почти такого же сильнаго, какъ и при дѣйствіи кислоты. Слѣдовательно, если апоневрозъ и играетъ какую-нибудь роль въ качествѣ причины, обусловливающей накопленіе CO_2H_2 въ участкахъ мышцы, ближайшихъ къ нижнему сухожильному концу, то во всякомъ случаѣ не исключительную, и притомъ главнымъ образомъ въ нижнемъ отдѣлѣ мышцы [1]).

[1]) Въ доказательство этого можно привесть еще слѣдующій опытъ: если только что вырѣзанную ироножную мышцу погрузить на 1½—2 минуты въ 1½% растворъ сѣрной кислоты, а затѣмъ, ополоснувши водой и осушивши пропускной бумагой, отвесть въ гальванометръ, то получается токъ максимальной силы (см. ниже, таб. IX и X), который однако черезъ 2—3 часа значительно ослабѣваетъ. Если мышцу погрузить на нѣкоторое время въ 2% растворъ уксусно-кислаго свинца или азинса, то ослабленіе тока производитъ еще скорѣе, вслѣдствіе болѣе быстраго умиранія поверхностныхъ слоевъ мышцы, причемъ поверхность ея мутнѣетъ отъ свертывающаго дѣйствія этихъ реагентовъ. Но если теперь снова смочить поверхность мышцы кислотой, которая приведетъ въ раздраженіе нижележащіе живые слои, то токъ опять развивается, причемъ, если мышца лежала не долго, онъ достигаетъ почти прежней силы. Очевидно, что разница въ толщинѣ апоневроза у сухожильнаго

Такимъ образомъ, при отыскиваніи причины, могущей обусловливать появленіе концентраціоннаго тока въ конусообразныхъ мышцахъ, мы приходимъ къ такому же заключенію, къ какому пришли при разсмотрѣніи токовъ наклоненія, а именно, что разница въ концентраціи угольной кислоты въ различныхъ участкахъ такой мышцы должна зависѣть отъ того, что хотя углекислота и образуется во всѣхъ точкахъ раздраженной поверхности ея въ одинаковой степени и количествѣ, но объемъ, въ которомъ ей приходится распредѣляться внутри мускула не вездѣ одинаковъ, благодаря чему и осмотическое давленіе ея въ этихъ мѣстахъ будетъ различно. Такъ какъ для простоты мы можемъ допустить, что въ данномъ случаѣ единственнымъ источникомъ углекислоты въ мышцѣ является раздраженная ея поверхность, а глубже лежащія части, находящіяся при этомъ въ покоѣ, совсѣмъ не производятъ или производятъ ее въ минимальномъ по сравненію съ поверхностью количествѣ, и такъ какъ всѣ точки поверхности находятся въ равномѣрномъ раздраженіи, причемъ каждый ея элементъ продуцируетъ въ единицу времени одно и то же количество CO_2H_2, то разсчетъ относительнаго количества ея въ разныхъ отдѣлахъ такой конусовидной мышцы не трудно будетъ сдѣлать, и для этого нужно только опредѣлить *отношеніе, которое существуетъ въ каждомъ данномъ ея отдѣлѣ между поверхностью, вырабатывающей угольную кислоту и объемомъ подлежащаго мышечнаго вещества, въ которомъ она распредѣляется*, т. е. дѣло сводится въ концѣ концовъ на рѣшеніе геометрической задачи, *сколько кубическихъ единицъ объема конуса приходится на каждую единицу его поверхности на разныхъ разстояніяхъ отъ его вершины.*

Для изученія электрическихъ явленій на конусовидныхъ мышцахъ употребляются почти исключительно икроножныя мышцы лягушки, такъ какъ тройничныя и другія сюда относящіяся, хотя и обнаруживаютъ такой же восходящій токъ, однако, благодаря трудной изоляціи или болѣе неправильному

конца и у экватора не можетъ при этомъ играть существенной роли, такъ какъ вся поверхность мышцы покрыта въ этомъ случаѣ равномѣрнымъ слоемъ свернувшагося отъ дѣйствія свинца и отмершаго вещества.

строенію, совсѣмъ непригодны для точныхъ опытовъ. Поэтому все дальнѣйшее наше изложеніе будетъ касаться исключительно икроножной мышцы лягушки (m. gastrocnemius).

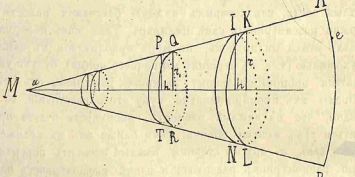
M. gastrocnemius лягушки имѣетъ видъ почти правильнаго конуса, вершина котораго примыкаетъ къ зеркальцу ахиллова сухожилья. Очевидно, что если на всей поверхности такой мышцы дѣйствуетъ во всѣхъ точкахъ равномѣрное раздраженіе, то каждый элементъ поверхности въ одно и то же время будетъ вырабатывать одинаковое количество CO_2H_2. Вообразимъ теперь, что весь этотъ мышечный конусъ раздѣленъ плоскостями, перпендикулярными къ его оси, на весьма малыя части, изъ которыхъ каждую благодаря малости ихъ можно разсматривать какъ цилиндръ. Такъ какъ поверхности всѣхъ этихъ цилиндровъ, по мѣрѣ приближенія къ ахиллову сухожилью (т. е. къ вершинѣ мышечнаго конца), будутъ уменьшаться пропорціональному квадрату разстоянія отъ него, а объемы ихъ пропорціонально кубу этого разстоянія, то очевидно, что на каждый элементъ поверхности будетъ приходиться тѣмъ меньше объема, чѣмъ ближе онъ къ сухожилью. Такъ какъ, съ другой стороны, каждый элементъ поверхности при равномѣрномъ раздраженіи извнѣ вырабатываетъ одинаковое количество CO_2H_2, то по мѣрѣ приближенія къ сухожилью объемъ, въ которомъ распредѣляется вырабатываемая такимъ образомъ CO_2H_2, будетъ уменьшаться, и слѣдовательно, напряженіе или осмотическое давленіе CO_2H_2 увеличиваться. А потому, при отведеніи отъ двухъ мѣстъ, находящихся на разныхъ разстояніяхъ отъ сухожилья, токъ будетъ идти въ мышцѣ отъ болѣе близкаго къ сухожилью мѣста (съ большей концентраціей іоновъ $\overline{CO_3}$ и $\overline{H}$) къ болѣе удаленному, а во внѣшней цѣпи. слѣдовательно, наоборотъ, т. е. чѣмъ ближе отводимое мѣсто къ сухожилью, тѣмъ болѣе оно будетъ казаться отрицательнымъ.

Если бы мы пожелали опредѣлить числовое выраженіе величины осмотическаго давленія CO_2H_2 въ каждомъ данномъ участкѣ мышцы, то должны бы, слѣдовательно, найти соотношеніе, какое существуетъ для этого участка между безконечно малымъ элементомъ его поверхности dS и соотвѣтствующимъ ему эле-

ментомъ объема d V, отношеніе $\frac{dS}{dV}$ и будетъ служить мѣриломъ для осмотическаго давленія p іоновъ угольной кислоты въ этомъ участкѣ.

Отношеніе $\frac{dS}{dV}$ очень легко опредѣлить для любой точки, взятой на поверхности мышечнаго конуса. Представимъ себѣ конусъ (фиг. 15), раздѣленный безконечно близкими другъ отъ друга плоскостями, параллельными его основанію, и слѣ-

Фиг. 15.



довательно, перпендикулярными къ оси, на части, которыя такимъ образомъ будутъ, за исключеніемъ послѣдней, представлять усѣченные конусы; но если отграничивающія ихъ плоскости находятся весьма близко одна отъ другой, то безъ ошибки можно разсматривать ихъ какъ цилиндры, высота которыхъ будетъ равна въ такомъ случаѣ весьма малой величинѣ h, а радіусъ основанія—тѣмъ больше, чѣмъ дальше находится разсматриваемый цилиндръ отъ вершины конуса. Возьмемъ усѣченный конусъ I K L N и будемъ разсматривать его какъ цилиндръ, высота котораго = h, а радіусъ основанія = r. Если уголъ AMh, который образуетъ боковая поверхность нашего конуса съ его осью, обозначимъ черезъ α, а разстояніе поверхности разсматриваемаго цилиндра отъ вершины конуса MK—черезъ H, то $r = H\operatorname{Sn}\alpha$.

А потому поверхность цилиндра IKLN:

$$dS = 2\pi rh = 2\pi H\operatorname{Sn}\alpha h,$$

а объемъ его:

$$dV = \pi r^2 h = \pi H^2 \operatorname{Sn}^2\alpha h.$$

Отношеніе dS къ dV должно показать, сколько единицъ поверхности приходится на единицу объема въ данномъ мѣстѣ, т. е. будетъ, какъ мы видѣли, мѣриломъ осмотическаго давленія для даннаго мѣста. Поэтому, раздѣляя первое уравненіе на второе, находимъ:

$$\frac{dS}{dV} = \frac{2\pi H\operatorname{Sn}\alpha h}{\pi H^2 \operatorname{Sn}^2\alpha h} = \frac{2}{H\operatorname{Sn}\alpha},$$

или

$$\frac{dS}{dV} = \frac{2}{H\operatorname{Sn}\alpha} = p.$$

Точно также для другого такого же безконечно малаго цилиндра P Q R T, находящагося отъ вершины M на разстояніи M Q = H_1, найдемъ:

$$\frac{dS_1}{dV_1} = \frac{2}{H_1\operatorname{Sn}\alpha} = p_1\ ^{1})$$

Раздѣля первое выраженіе на второе, получимъ:

$$\frac{p}{p_1} = \frac{dS}{dV} : \frac{dS_1}{dV_1} = \frac{H_1}{H}$$

Слѣдовательно, осмотическое давленіе угольной кислоты вдоль мышечнаго конуса должно измѣняться *обратно пропорціонально разстоянію участка отъ его вершины.*

На этомъ основаніи мы можемъ вычислить величину электродвигательной силы для тока, который долженъ получиться при отведеніи отъ какихъ-нибудь двухъ точекъ, взятыхъ на поверхности икроножной мышцы, если дано разстояніе этихъ точекъ отъ вершины конуса, т. е. отъ ахиллова сухожилья, пользуясь основной формулой концентраціоннаго мышечнаго тока (α, гл. III) и подставляя въ нее вмѣсто $\frac{p}{p_1}$ отношеніе разстояній отводимыхъ мѣстъ отъ ахиллова сухожилья. Тогда мы будемъ имѣть:

[illegible]

[illegible]

[illegible]

$$E = 0{,}043 \log \frac{p}{p_1} = 0{,}043 \log \frac{H}{H_1} \ldots . \quad (1).$$

Если, напримѣръ, одинъ электродъ поставленъ на экваторъ, разстояніе котораго отъ ахиллова сухожилья равняется около 20 mm., а другой у самаго сухожилья на разстояніи 1 mm, то $\frac{H}{H_1} = 20$, а слѣдовательно:

$$E = 0{,}043 \log 20 = 0{,}043 . 1{,}3 = 0{,}056 \text{ вольта.}$$

Если пользоваться формулой (β, гл. III) для случая диффузіи однихъ іоновъ водорода, то найдемъ:

$$E = 0{,}058 \log \frac{p}{p_1} = 0{,}058 \log \frac{H}{H_1} . \ldots . \quad (2).$$

Въ нижеприведенныхъ опытахъ сопоставлены результаты произведенныхъ мною измѣреній электродвигательной силы токовъ, получающихся при отведеніи отъ различныхъ точекъ поверхности икроножной мышцы лягушки, съ тѣми теоретическими величинами, которыя вычисляются на основаніи вышеприведенной формулы, причемъ, какъ и раньше, сопоставлены вмѣстѣ числа, получающіяся при пользованіи какъ формулой (α, стр. 72) для диффузіоннаго тока чистой угольной кислоты, такъ и формулой (β, стр. 79), которая выведена въ томъ предположеніи, что на величину электродвигательной силы мышечныхъ токовъ вліяетъ только концентрація іоновъ водорода въ отводимыхъ въ гальванометръ мѣстахъ. Разстоянія H_0, H_1, H_2, H_3, H_4 отводимыхъ точекъ отъ ахиллова сухожилья (вершина мышечнаго конуса) брались почти всегда въ одномъ и томъ же отношеніи 1 : 5 : 10 : 15 : 20. Для крѣпкихъ, не ниже средней величины лягушекъ разстояніе отъ мѣста прикрѣпленія волоконъ къ зеркальцу ахиллова сухожилья въ 20 mm. какъ разъ соотвѣтствуетъ максимальной силѣ получающагося тока, т. е. мышечному экватору. (Для болѣе коротклихъ мышцъ соотвѣтственныя разстоянія брались въ отношеніи 1. : 4 : 8 : 12 : 16).

При производствѣ измѣреній, для удобства нижній, ближайшій къ сухожилью, отрицательный электродъ все время оставался на одномъ и томъ же мѣстѣ ($H_0 = 1$ mm.), а положительный послѣдовательно прикладывался къ точкамъ, лежащимъ по одной прямой линіи вдоль поверхности на разстояніяхъ: $H_1 = 5$ mm., $H_2 = 10$ mm, $H_3 = 15$ mm. и $H_4 = 20$ mm. Такимъ образомъ отношенія осмотическихъ давленій въ отводимыхъ мѣстахъ должны были измѣняться въ той же пропорціи, и для подстановки въ формулу соотвѣтствующей величины достаточно взять цифру разстоянія положительнаго электрода въ миллиметрахъ (напримѣръ, при отведеніи отъ H_0 и H_3 отношеніе осмотическихъ давленій $\frac{p_0}{p_3} = \frac{H_3}{H_0} = 15$). Что касается до величины электродвигательной силы при отведеніяхъ не отъ нижняго конца мышцы (H_0), а, напримѣръ, отъ точекъ H_2 и H_3, то она, очевидно, во всякомъ случаѣ будетъ равна разности между величинами, получающимися при отведеніи отъ каждой изъ нихъ порознь — съ одной стороны, и отъ точки H_0 — съ другой.

Значительное несогласіе опытныхъ данныхъ съ теоретическими замѣчается при отведеніяхъ отъ двухъ точекъ, находящихся по близости отъ нижняго сухожильнаго конца ($H_0 = 1$ mm., $H_1 = 5$ mm.). Однако такое отношеніе не можетъ представить сколько-нибудь серьезнаго затрудненія для объясненія, если принять во вниманіе, что въ этомъ мѣстѣ икроножная мышца больше всего уклоняется отъ формы правильнаго конуса, которая была положена въ основу нашего вычисленія осмотическаго давленія р. Какъ видно на помѣщенномъ выше схематическомъ рисункѣ Дю-Буа Реймона (фиг. 14), и какъ легко убѣдиться на свѣжей только что вырѣзанной мышцѣ, разрѣзавши ее вдоль ножницами или при разсматриваніи на свѣтъ,—нижній мясистый конецъ мышцы у мѣста соединенія съ ахилловымъ сухожильемъ представляется не въ формѣ заостренной вершины конуса, а напротивъ—уплощеннымъ по направленію сверху внизъ и расширеннымъ въ боковыя стороны, такъ что его соединеніе съ зеркальцемъ сухожилья представляется въ видѣ нѣсколько закругленной линіи (C), выпуклой по направленію къ сухожилью. Легко видѣть, что при такихъ условіяхъ отношеніе между поверхностью и объемомъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ и осмотическое давленіе будетъ тутъ измѣняться по другому закону, чѣмъ у вершины конуса; такъ какъ форма этой вершины въ данномъ случаѣ приближается скорѣе къ формѣ удлиненнаго

четырехугольника съ закругленными ребрами или къ мясистой лентѣ съ закругленнымъ концомъ, то отношеніе между поверхностью и объемомъ должно здѣсь приближаться къ постоянному, которое имѣетъ мѣсто на правильномъ параллелипипедѣ, гдѣ поверхность и объемъ относятся одинаково по всей длинѣ. Это и наблюдается на икроножной мышцѣ лягушки, гдѣ паденіе потенціала, resp. разница въ величинѣ осмотическаго давленія, измѣняется очень мало на протяженіи первыхъ 5 миллиметровъ отъ ахиллова сухожилья [1]).

Кромѣ этой причины, обусловливающей выравниваніе осмотическаго давленія на нижнемъ участкѣ m. gastrocnemii, тутъ весьма вѣроятна и другая. Дѣло въ томъ, что въ разсужденіяхъ о распредѣленіи осмотическаго давленія CO_3H_2 вдоль мышцы мы предполагали, что толщина собственно раздраженнаго, вырабатывающаго углекислоту мышечнаго слоя на поверхности очень незначительна по сравненію съ толщиной покойнаго вещества, гдѣ она распредѣляется. Но на тонкомъ участкѣ мышечнаго вещества у ахиллова сухожилья такое отношеніе между раздраженнымъ и покойнымъ веществомъ едва-ли можетъ имѣть мѣсто. Скорѣе всего можно предположить, что на нѣкоторомъ протяженіи весь этотъ тонкій слой мышечныхъ волоконъ приходитъ въ раздраженное состояніе in toto, такъ что осмотическое давленіе CO_3H_2 будетъ болѣе или менѣе одинаково на всемъ его протяженіи, благодаря чему и паденія потенціала здѣсь не будетъ.

Другое явное несовпаденіе между величинами электромоторной силы, вычисленными по вышеприведенной формулѣ и находимыми въ дѣйствительности, замѣчается при отведеніи отъ самаго верхняго участка мышцы, у мышечнаго экватора,

[1]) Если бы m. gastrocnemius представлялъ геометрически правильный конусъ, то при отведеніи отъ 2 точекъ, находящихся на разстояніи 1 и 2 mm. отъ вершины его, мы согласно теоріи должны бы получить: $E = 0{,}058 \log 2 = 0{,}0175$, а при отведеніи отъ самой вершины и какой бы то ни было другой точки съ осмотическимъ давленіемъ p: $E = 0{,}058 \log \frac{p}{0} = \infty$. Что въ дѣйствительности, конечно, не могло бы быть, даже если бы мы имѣли дѣло съ настоящимъ конусомъ, какъ не получается, напримѣръ, безконечно большое электростатическое давленіе на заостренномъ концѣ металлическаго проводника, гдѣ оно по теоріи тоже должно быть безконечно велико.

гдѣ дѣйствительно получаемая разность потенціала значительно превышаетъ теоретическую.

Съ одной стороны тутъ, несомнѣнно, играетъ извѣстную роль одно обстоятельство, на которое указывалось уже выше, а именно задерживающее вліяніе апоневроза, покрывающаго нижнюю часть икроножной мышцы, на выдѣленіе CO_2 наружу. Вызванное черезъ это скопленіе углекислоты въ нижнемъ участкѣ, прилегающемъ къ ахиллову сухожилью, должно усилить еще больше его отрицательность по отношенію къ мѣстамъ, лежащимъ ближе къ экватору, гдѣ апоневротическое растяженіе почти отсутствуетъ.

Однако одной этой причины для объясненія столь большой разницы недостаточно, во-первыхъ—потому, что, какъ упомянуто выше, вліяніе апоневроза на выдѣленіе углекислоты изъ мускула наружу не можетъ быть очень значительнымъ, а во вторыхъ, если-бы причина увеличенія разности потенціала въ данномъ случаѣ зависѣла отъ повышеннаго накопленія угольной кислоты въ самомъ нижнемъ отдѣлѣ мышечнаго конуса, то она должна была-бы также повлечь за собой увеличеніе разности потенціала при отведеніи не только отъ экватора, а и отъ другихъ, ниже лежащихъ мѣстъ.

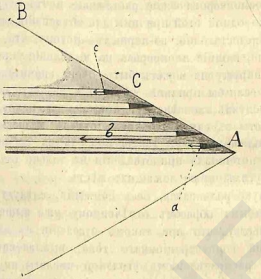
Главную роль здѣсь, безъ сомнѣнія, слѣдуетъ приписать тому, равнымъ образомъ отмѣченному уже выше (стр. 159), обстоятельству, что при такомъ отведеніи съ электромоторной силой концентраціоннаго тока, вызываемаго неравномѣрнымъ распредѣленіемъ угольной кислоты внутри мышечнаго конуса, будетъ суммироваться электродвигательная сила демаркаціонной плоскости, находящейся на прижженныхъ концахъ мышечныхъ волоконъ, которыя прикрѣпляются здѣсь фасеткообразно къ сухожильному растяженію, причемъ дѣло будетъ происходить такъ, какъ будто бы въ гальваническую цѣпь былъ включенъ новый элементъ. При отведеніи отъ двухъ точекъ поверхности въ нижней половинѣ мышцы (между точками D и i, фиг. 14) такія демаркаціонныя плоскости получаются у мѣстъ приложенія обоихъ электродовъ, поэтому онѣ болѣе или менѣе компенсируютъ другъ друга, когда же верхній электродъ передвигается ближе къ экватору (e), то такая

плоскость остается только у нижняго электрода, благодаря чему и должно происходить усиленіе тока.

Этимъ обстоятельствомъ объясняется также сильный скачекъ потенціала, наблюдаемый въ среднихъ отдѣлахъ мышечной поверхности и значительно превосходящій величину, опредѣляемую согласно нашей формулѣ (см. ниже, табл. III и IV), такъ какъ здѣсь именно кончается фасеточное прикрѣпленіе волоконъ къ экватору.

Ниже (гл. VIII) намъ придется еще разъ подробнѣе говорить объ этомъ суммированіи отдѣльныхъ скачковъ потенціала

Фиг. 16.



внутри конусообразныхъ мышцъ, теперь же достаточно, для большей ясности, разсмотрѣть приводимый схематическій рисунокъ (фиг. 16), изображающій продольный разрѣзъ конусовидной мышцы съ проходящими внутри ея мышечными волокнами, взостренные концы которыхъ прикрѣпляются фасеткообразно къ покрывающему ее апоневрозу AC. Отдѣльные скачки потенціала обозначены на этой схемѣ стрѣлками *a*, *b* и *c*, изъ которыхъ стрѣлка *b* обозначаетъ постепенное паденіе потенціала, вызванное постепеннымъ уменьшеніемъ концентраціи угольной кислоты внутри мышцы по мѣрѣ удаленія отъ ахиллова сухожилья, а стрѣлки *a* и *c* соотвѣтствуютъ

паденіямъ потенціала на границѣ демаркаціонныхъ плоскостей, образующихся на отмирающихъ концахъ мышечныхъ волоконъ.

Очевидно, что если отведеніе тока производится отъ точекъ A и C, то паденія потенціала *a* и *c*, обусловленныя существованіемъ демаркаціонныхъ плоскостей на прижженныхъ концахъ мышечныхъ волоконъ, взаимно уничтожатъ другъ друга, и гальванометръ обнаружитъ только присутствіе электродвигательной силы *b*, вызванной постепеннымъ паденіемъ концентраціи CO_3H_2 по мѣрѣ приближенія къ экватору, и такимъ образомъ въ этомъ случаѣ мы должны ожидать болѣе или менѣе полнаго совпаденія дѣйствительно наблюдаемой электродвигательной силы тока съ величиной, вычисленной теоретически по вышеприведеннымъ формуламъ (1) и (2). Но если отводить токъ отъ той же точки A, лежащей у нижняго конца мышцы, и отъ какой-нибудь точки B, гдѣ уже кончилось фасеткообразное прикрѣпленіе мышечныхъ волоконъ къ апоневрозу, то ничто не будетъ компенсировать паденія потенціала *a*, которое и не замедлитъ обнаружиться въ гальванометрѣ въ видѣ усиленія электродвигательной силы *b*. Очевидно далѣе, что въ этомъ случаѣ полная величина электродвигательной силы должна выразиться суммой отдѣльныхъ паденій потенціала *a* и *b*, т. е. величиной, получаемой изъ формулъ (1) и (2), съ прибавленіемъ электродвигательной силы демаркаціонной плоскости (стр. 109 и 113):

$$E = 0{,}043 \log \frac{H}{H_1} + 0{,}035 \text{ Volt}, \quad \ldots \quad (3).$$

для диффузіоннаго тока угольной кислоты, и

$$E = 0{,}058 \log \frac{H}{H_1} + 0{,}047 \text{ Volt}, \quad \ldots \quad (4).$$

для диффузіоннаго тока однихъ только іоновъ водорода.

Въ нижеслѣдующихъ таблицахъ сопоставлены результаты измѣреній электродвигательной силы токовъ икроножной мышцы при различныхъ условіяхъ. Въ первыхъ четырехъ таблицахъ приведены средніе цифровыя данныя, полученныя на многочисленныхъ опытахъ, производившихся въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ и въ разное время года; въ слѣдующихъ таблицахъ приведены опыты съ отдѣльными препаратами при тѣхъ или иныхъ условіяхъ.

№ I.

Препаратъ приготовлялся по описанному выше способу со снятіемъ кожи цѣликомъ. Немедленно по снятіи кожи нижнія конечности погружались на 2 минуты въ $^1/_{10}{}^0/_0$ растворъ сѣрной кислоты, ополаскивались физіологическимъ растворомъ и осушивались, послѣ чего производилось измѣреніе тока. Нижній электродъ оставался все время неподвижно на одномъ и томъ же мѣстѣ въ разстояніи 1 mm. отъ верхняго конца зеркальца ахиллова сухожилья, а верхній послѣдовательно прикасался къ точкамъ, находившимся на разстояніи 5, 10, 15 и 20 mm. отъ сухожилья.

Разстояніе нижняго электрода отъ ахил. сухожилья H_0=1 mm. Разстояніи верхняго:	Средняя величина дѣйствительно наблюд. электромоторной силы тока въ вольтахъ.	Электромотор. сила, вычисл. по форм. (α) для CO_3H_2.	Эл.-м. сила, вычисл. по форм. (β) для одного водорода.
H_1= 5 mm.	0,018	0,030	0,040
H_2=10 »	0,045	0,043	0,058
H_3=15 »	0,080	0,050	0,068
H_4=20 »	0,125	{ 0,055 / 0,090 [1] }	{ 0,075 / 0,122 [1] }

№ II.

То же самое на болѣе короткихъ мускулахъ.

Разст. ниж. электрода H_0=1 mm. Разст. верхн.:	Дѣйств. наблюд. величина.	Велич., вычисл. по форм. α.	Велич., вычисл. по форм. β.
H_1= 4 mm.	0,015	0,026	0,035
H_2= 8 »	0,036	0,039	0,052
H_3=12 »	0,072	0,046	0,062
H_4=16 »	0,110	{ 0,052 / 0,087 [1] }	{ 0,069 / 0,116 [1] }

[1]) Эти величины вычислены по формуламъ (3) и (4).

№ III.

Сопоставлены дѣйствительно наблюдаемыя и теоретически вычисленныя величины электродвигательной силы при отведеніяхъ отъ двухъ сосѣднихъ точекъ, взятыхъ на такомъ же разстояніи отъ ахиллова сухожилья, какъ и въ первой таблицѣ. Приготовленіе препарата такое же.

Отведенныя мѣста.	Найден. эл.-м. сила тока.	Вычисл. по форм. α.	Вычисл. по форм. β.
H_0—H_1= 1— 5 mm.	0,018	0,030	0,040
H_1—H_2= 5—10 »	0,027	0,013	0,018
H_2—H_3=10—15 »	0,035	0,007	0,010
H_3—H_4=15—20 »	0,045	{ 0,005 / 0,040 [1] }	{ 0,007 / 0,054 [1] }

№ IV.

То же на короткихъ мышцахъ.

Отведенныя мѣста.	Найден. эл.-м. сила.	Вычисл. по формѣ α.	Вычисл. по форм. β.
H_0—H_1= 1— 4 mm.	0,015	0,026	0,035
H_1—H_2= 4— 8 »	0,021	0,013	0,017
H_2—H_3= 8—12 »	0,036	0,007	0,010
H_3—H_4=12—16 »	0,038	{ 0,006 / 0,041 [1] }	{ 0,007 / 0,054 [1] }

[1]) Эти величины вычислены по формулѣ (3) и (4).

№ V.

Величины электромоторной силы, получаемыя въ тѣхъ случаяхъ, когда вмѣсто $^1/_{10}{}^0/_0$ раствора кислоты брались другіе раздражители. Способъ приготовленія препарата, какъ въ № 1.

Разст. нижн. элект. отъ сухож. H_0=1 mm. Разстоянія верхняго:	$^1/_{10}{}^0/_0$ растворъ сѣрн. кисл.	$1^0/_0$ раств. ѣдкаго натра.	Хлороформъ.	Вератринъ.	$2^0/_0$ раств. уксус. кис. $C_2H_4O_2$.
H_1= 5 mm.	0,018	0,019	0,021	0,017	0,020
H_2=10 »	0,045	0,040	0,045	0,044	0,042
H_3=15 »	0,080	0,075	0,071	0,084	0,079
H_4=20 »	0,125	0,110	0,115	0,140	0,102

№ VI.

Вліяніе кратковременнаго дѣйствія кислоты ($^1/_{10}{}^0/_0$ SO_4H_2) Опыты производились на вырѣзанныхъ мускулахъ, которые послѣ погруженія въ растворъ должны быть тщательно ополоснуты въ водѣ и осушены, какъ описано выше.

Разст. электр.: H_0=1 mm.	Погруженіе на 10 сек.	Послѣ 20 сек.	Послѣ 30 сек.	Послѣ 1 мин.	Послѣ $1^1/_2$ м.	Послѣ 2 мин.	Послѣ 3 мин.
H_1= 5 mm.	—	—	—	0,005	0,012	0,020	0,019
H_2=10 »	—	0,010	0,015	0,022	0,035	0,040	0,041
H_3=15 »	—	0,020	0,025	0,054	0,058	0,081	0,080
H_4=20 »	—	0,022	0,029	0,065	0,080	0,115	0,110

№ VII.

Угасаніе мышечнаго тока во времени. Опытъ во влажной камерѣ на вырѣзанной мышцѣ, приготовленной обычнымъ способомъ ($^1/_{10}{}^0/_0$ SO_4H_2).

Разст. электр. отъ сухож.: H_0=1 mm.	Непоср. по вырѣз.	Чрезъ $^1/_2$ ч.	Чрезъ 1 ч.	Чрезъ 3 ч.	Чрезъ 6 ч.	Чрезъ 12 ч.
H_1= 5 mm.	0,012	0,018	0,015	0,005	—	—
H_2=10 »	0,032	0,042	0,040	0,025	0,010	—
H_3=15 »	0,080	0,075	0,071	0,057	0,032	0,015
H_4=20 »	0,120	0,092	0,085	0,070	0,038	0,017

№ VIII.

Тотъ же опытъ на мышцѣ, дающей только слабый токъ, благодаря кратковременному дѣйствію кислоты на ея поверхность.

Разст. электрод.: H_0=1 mm.	Непоср. по вырвз.	Чрезъ $^1/_2$ ч.	Чрезъ 1 ч.	Чрезъ 2 ч.	Чрезъ 3 ч.
H_1= 5 mm.	—	—	—	—	—
H_2=10 »	0,005	—	—	—	—
H_3=15 »	0,022	0,018	0,012	0,005	—
H_4=20 »	0,032	0,021	0,015	0,007	—

№ IX.

Такая же постановка опыта какъ въ № VII. Ослабѣвшій токъ снова усиливается послѣ погруженія (съ послѣдующимъ ополаскиваніемъ) въ $^1/_{10}{}^0/_0$ сѣрную кислоту.

Разстоян. электродовъ: He=1 mm.	Эл.-мот. с. непосред. послѣ вырѣзанія.	Черезъ 3 час.	Послѣ погружен. на 2 мин. въ $^1/_{10}{}^0/_0$ SO_4H_2.	Черезъ 2 час.	Черезъ 4 час.
H_1= 5 mm.	0,022	—	0,011	—	—
H_2=10 »	0,045	0,021	0,036	0,012	—
H_3=15 »	0,077	0,038	0,054	0,028	0,010
H_4=20 »	0,083	0,042	0,072	0,033	0,018

№ X.

Вліяніе свертывающаго протоплазму вещества (2% раств. plumb. acet. bas.) и послѣдующаго смачиванія кислотой. Постановка, какъ въ предыдущемъ №.

Разст. электр.: He=1 mm.	Непоср. по вырѣз.	Черезъ 2 час.	Мышца погруж. на 4 мин. въ 2% раств. уксс.-кисл. свинца.	Черезъ $^1/_2$ час.	Послѣ новаго погруж. на 2 м. въ $^1/_{10}{}^0/_0$ SO_4H_2.
H_1= 5 mm.	0,020	0,005	—	—	0,002
H_2=10 »	0,038	0,025	0,010	—	0,019
H_3=15 »	0,065	0,051	0,027	0,010	0,038
H_4=20 »	0,088	0,072	0,042	0,022	0,044

№ XI.

Протеканіе тока во времени на открытомъ воздухѣ (безъ влажной камеры). Вырѣзанная мышца. $^1/_{10}{}^0/_0$ SO_4H_2.

Разст. электр.: He=1 mm.	Послѣ вырѣзыв.	Черезъ $^1/_2$ ч.	Черезъ 1 ч.	Черезъ 2 ч.	Черезъ 3 ч.	Черезъ 6 ч.
H_1= 5 mm.	0,025	0,023	0,010	—	—	—
H_2=10 »	0,048	0,041	0,031	0,010	—	—
H_3=15 »	0,072	0,064	0,041	0,021	0,018	—
H_4=20 »	0,094	0,085	0,055	0,028	0,022	—

№ XII.

У большой лягушки перевязана правая a. iliaca, послѣ чего въ брюшную полость впрыснутъ 1 праваповскій шприцъ 5% раствора мѣднаго купороса. Черезъ полчаса, когда лягушка лежала уже безъ движенія, вырѣзаны обѣ икроножныя мышцы и приготовлены, какъ въ предыдущихъ опытахъ, погруженіемъ въ $^1/_{10}{}^0/_0$ растворъ SO_4H_2.

Разст. отв. электр.: He=1 mm.	Эл.-двиг. сил. непосредств. послѣ вырѣз.	Черезъ 1 часъ.	Черезъ 3 часа.	Обѣ мускулопогруж. на 2 мин. въ $^1/_{10}{}^0/_0$ SO_4H_2.	Черезъ 6 час.	Погруж. въ $^1/_{10}{}^0/_0$ SO_4H_2
H_1= 5 mm.	прав. 0,012	0,005	—	0,005	—	—
	лѣв. 0,010	—	—	—	—	—
H_2=10 »	прав. 0,042	0,038	0,020	0,040	0,011	0,024
	лѣв. 0,035	0,028	0,005	0,025	—	—
H_3=15 »	прав. 0,065	0,045	0,038	0,051	0,021	0,029
	лѣв. 0,058	0,032	0,020	0,035	0,005	—
H_4=20 »	прав. 0,082	0,052	0,045	0,061	0,025	0,032
	лѣв. 0,075	0,043	0,028	0,042	0,009	0,008

Намъ необходимо еще сказать нѣсколько словъ о техникѣ постановки опытовъ и производства измѣреній, которыми я пользовался, и на нѣкоторыя явленія, которыя находятся въ тѣсной связи съ особенностями взятаго для опыта препарата.

Что касается до измѣренія тока, то оно производилось обычнымъ компенсаціоннымъ способомъ и ничѣмъ не отличалось отъ описаннаго въ предыдущихъ опытахъ, такъ что на немъ нѣтъ надобности останавливаться. Способъ же приготовленія препарата икроножной мышцы заслуживаетъ большого вниманія съ нашей стороны.

Какъ уже сказано выше, элекрическій токъ на только что обнаженной икроножной мышцѣ лягушки наблюдается только тогда, если при препаровкѣ была какимъ бы то ни было образомъ повреждена ея поверхность (напр., если производить разрѣзъ кожи прямо надъ мышцей, такъ что ѣдкое кожное отдѣляемое попадаетъ въ рану, и кромѣ того не исключена возможность инсультированія мышцы ножницами, прямо механически, или путемъ химическимъ — дѣйствіемъ образующейся окиси желѣза). Если же обнаженіе мышцы производилось съ достаточными предосторожностями (со снятіемъ кожи цѣликомъ), то такая мышца совсѣмъ не обнаруживаетъ присутствія электрическихъ токовъ, по крайней мѣрѣ первое время, а затѣмъ обнаруживаетъ очень слабое электромоторное дѣйствіе въ зависимости отъ раздраженія ея поверхности вслѣдствіе высыханія. Если же только что обнаженную и совершенно лишенную электрическихъ токовъ мышцу сейчасъ же помѣстить осторожно во влажную камеру, то она можетъ до самой смерти остаться безъ токовъ. Что касается до только что упомянутыхъ токовъ, появляющихся вслѣдствіе неосторожной препаровки, то электродвигательная сила ихъ находится всецѣло въ зависимости отъ поврежденія поверхности мускула, и величина ея колеблется обыкновенно въ предѣлахъ 0,04—0,06 вольта и рѣдко достигаетъ 0,07—0,08 вольта; послѣднія величины получаются тогда, когда приготовленіе препарата производилось безъ всякихъ предохранительныхъ мѣръ, т. е. если для обнаженія мышцы прямо дѣлается разрѣзъ кожи ножницами вдоль ея, а затѣмъ мышца изолируется путемъ перерѣзки

нижняго и верхняго ея сухожилій тѣми же самыми ножницами [1]).

Придавать какое-либо значеніе этимъ цифрамъ, какъ имѣющимъ чисто случайный характеръ, разумѣется, нельзя. Для того, чтобы цифры, получаемыя при измѣреніи, могли служить достаточнымъ критеріемъ для подтвержденія нашей теоріи, необходимо установить совершенно единообразный способъ производства изслѣдованія, и притомъ такой, который находился бы въ полномъ согласіи съ тѣми условіями, наличность которыхъ мы предполагали при выводѣ формулы для вычисленія электромоторной силы тока икроножной мышцы, а именно, что при всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ поверхность мышцы приводится въ совершенно однообразное и равномѣрное раздраженіе.

Поэтому при своихъ опытахъ я поступалъ слѣдующимъ образомъ. У лягушки, предназначавшейся для опыта, отрѣзалась голова однимъ ударомъ ножницъ, и немедленно вслѣдъ затѣмъ тщательно разрушался спинной мозгъ посредствомъ длинной иглы. Эти манипуляціи необходимо продѣлывать по возможности быстро, чтобы животное не производило много движеній, такъ какъ въ противномъ случаѣ можно ожидать значительнаго скопленія углекислоты въ мышечной ткани, что могло бы оказывать вліяніе на электромоторную силу наблюдаемыхъ потомъ токовъ. Послѣ этого лягушка нѣсколько разъ ополаскивалась изъ подъ крана водопровода, тщательно осушивалась полотенцемъ, и послѣ циркулярнаго разрѣза вокругъ туловища кожа снималась сразу цѣликомъ. Если послѣ этого отвесть въ гальванометръ ахиллово сухожилье и верхній конецъ икроножной мышцы, то никакого отклоненія стрѣлки не получается. При этомъ совершенно безразлично, отводить

[1]) Этимъ несовершеннымъ способомъ приготовлялъ я препараты при своихъ прежнихъ работахъ надъ измѣреніемъ электромоторной силы мышечныхъ токовъ, благодаря чему и получалъ величины, меньшія дѣйствительныхъ, такъ какъ при выводѣ средней цифры въ расчетъ принимались и такія низкія величины какъ 0,04—0,06 вольтъ, которыя никогда почти не получаются при нижеописанной постановкѣ опыта, когда поверхность приводится въ равномѣрное раздраженіе посредствомъ погруженія мышцы въ слабый растворъ кислоты.

ли токъ отъ мышцы, находящейся in situ (предварительно растянувши лягушку на пробковой дощечкѣ съ обращенными вверхъ задними частями голеней), или же отъ вырѣзанной,— предполагая, конечно, что вырѣзываніе совершено со всевозможной тщательностью и предосторожностями, чтобы не допустить ни малѣйшаго поврежденія поверхности. Для послѣдней цѣли нужно перерѣзать осторожно мѣсто прикрѣпленія ахиллова сухожилья, и затѣмъ, захвативши за самый кончикъ его пинцетомъ, оттянуть мускулъ кверху, отнюдь не отдѣляя его ножницами,—послѣ чего, натянувши немного мышцу, легко перерѣзать верхнее сухожилье у самой кости, не повреждая самаго мышечнаго вещества. Изолированная такимъ образомъ мышца впадаетъ обыкновенно въ тетаническое состояніе, которое впрочемъ быстро прекращается, и мышца по прежнему не обнаруживаетъ тока при отведеніи въ гальванометръ.

Для того, чтобы получить нужный намъ восходящій мышечный токъ, необходимо привесть въ раздраженное состояніе поверхность мускула, и притомъ такимъ образомъ, чтобы мышечное вещество на всемъ протяженіи ея находилось въ совершенно одинаковой степени раздраженія, resp. чтобы каждый элементъ поверхности въ единицу времени продуцировалъ одно и то же количество CO_2H_2. Для этого я въ большинствѣ случаевъ пользовался слабымъ ($^1/_{10}{}^0/_0$) растворомъ сѣрной кислоты. Только что обнаженная мышца, осторожно вырѣзанная вышеописаннымъ способомъ, погружалась въ растворъ кислоты на время отъ 1 до 2 минутъ; послѣ чего вынималась изъ кислоты, ополаскивалась водой или физіологическимъ растворомъ, тщательно осушивалась кусочкомъ фильтровальной бумаги и клалась на чистое стекло или кусокъ обыкновенной бумаги. Отъ дѣйствія кислоты мышца впадаетъ въ сильное тетаническое сокращеніе, поэтому по происшествіи 1 — 2 минутъ, когда тетанусъ прекратится, ее необходимо снова расправить на стеклѣ, послѣ чего и можно уже производить измѣренія.

Вмѣсто кислоты можно брать какой угодно раздражитель, за исключеніемъ только такихъ, которые свертываютъ протоплазму, напр. уксусно-кислый свинецъ, ляписъ и т. п., отъ которыхъ поверхность мышцы мутнѣетъ, и токи получаются слабые. $1^0/_0$ растворъ ѣдкихъ щелочей, хлороформъ, вератринъ и т. д. дѣйствуютъ въ этомъ отношеніи совершенно такъ же и съ такимъ же эффектомъ, какъ и кислота, какъ то видно изъ приведенныхъ выше опытовъ. Этимъ самымъ исключается возможность заподозрить, что въ данномъ случаѣ развитіе тока происходитъ вполнѣ или отчасти на счетъ проникновенія въ мышечную паренхиму кислоты и возникновенія діффузіонныхъ токовъ со стороны этой послѣдней. Въ противномъ случаѣ хлороформъ не могъ бы вызывать такихъ же токовъ, такъ какъ онъ не принадлежитъ къ числу электролитовъ, точно также и ѣдкая щелочь должна бы дѣйствовать въ противоположномъ направленіи, чѣмъ кислота, такъ какъ при діффузіи ея паденіе потенціала совершается въ обратную сторону (отрицательный іонъ движенія скорѣе).

Гораздо болѣе важную роль, чѣмъ химическій характеръ раздражителя, играетъ время, въ теченіе котораго онъ дѣйствовалъ на мышцу, т. е. сколько времени продолжалось смачиваніе ея поверхности. Для большинства вышеперечисленныхъ реагентовъ необходимо не менѣе $1^1/_2$ минутное дѣйствіе, чтобы дать току развиться въ полной силѣ (скорѣе всего дѣйствуетъ, повидимому, вератринъ, слабѣе щелочь и хлороформъ); если же вынуть мышцу изъ раствора кислоты и т. д. раньше, то токъ получается значительно слабѣе,—напр., въ случаѣ $^1/_{10}{}^0/_0$ раствора кислоты, послѣ 30 сек. получаемая сила тока можетъ не превышать 0,02 V, а черезъ одну минуту она равна 0,04—0,05 V. Если при этомъ мышца по вынутіи изъ раствора кислоты была ополоснута водой или физіологическимъ растворомъ, то эта величина электродвигательной силы такъ и не увеличивается больше до самой смерти мышцы. Но если послѣ этого мышцу погрузить снова въ кислоту на болѣе продолжительное время или просто не обмывать, то развивается токъ максимальной силы. Для болѣе крѣпкихъ растворовъ кислоты время это сокращается. Однако примѣненіе крѣпкихъ растворовъ неудобно въ другомъ отношеніи: мышечное вещество на поверхности свертывается, мутнѣетъ, и самъ мус-

кулъ такъ съеживается, что его потомъ нельзя расправить. Равнымъ образомъ, если дѣйствіе слабыхъ растворовъ продолжается болѣе 2 минутъ, то сила тока уже не увеличивается больше, а поверхность мышцы сморщивается.

При этомъ нерѣдко случается, что даже при вполнѣ достаточномъ дѣйствіи кислоты максимальная электродвигательная сила развивается не сразу, а лишь по прошествіи нѣкотораго времени послѣ отведенія тока (ср. опытъ VII).

Чтобы закончить эту главу, посвященную токамъ, наблюдаемымъ на конусообразныхъ мышцахъ, намъ необходимо еще остановиться нѣсколько на тѣхъ возраженіяхъ, которыя могутъ быть сдѣланы противъ предложенной выше концентраціонной теоріи этихъ токовъ.

Согласно выведенной нами формулѣ для вычисленія электромоторной силы тока конусообразной мышцы, величина этой силы зависитъ всецѣло отъ отношенія P/p_1 между осмотическими давленіями угольной кислоты въ двухъ отводимыхъ въ гальванометръ участкахъ мышцы, а не отъ абсолютной величины этихъ давленій, которой мы къ тому же и знать не можемъ; съ другой стороны, мы предполагали, что величина осмотическаго давленія для каждаго даннаго участка находится въ прямомъ отношеніи со степенью раздраженія мышечной поверхности. Отсюда слѣдуетъ заключить, что если, вслѣдствіе менѣе продолжительнаго воздѣйствія кислоты, раздраженіе на какомъ-нибудь отводимомъ въ гальванометръ участкѣ мышцы уменьшится, напр., вдвое противъ прежняго, то вмѣстѣ съ тѣмъ уменьшится вдвое и величина осмотическаго давленія p для этого участка, но въ то же самое время, и во столько же разъ уменьшится продукція углекислоты и осмотическое давленіе p_1 въ другомъ отводимомъ участкѣ, такъ что отношеніе P/p_1 останется все-таки прежнее. Поэтому и величина электромоторной силы должна остаться безъ измѣненія (отъ уменьшенія абсолютной величины p и p_1 можетъ уменьшится только внутреннее сопротивленіе мышцы - элемента). Такимъ образомъ дѣлается непонятнымъ, почему электромоторная сила мышечнаго тока при менѣе продолжительномъ воздѣйствіи кислоты или другого раздражителя получается меньше.

Однако это затрудненіе устраняется, если принять во вниманіе еще другое обстоятельство, которое должно вліять на степень раздраженія разныхъ мѣстъ поверхности мышцы при соприкосновеніи ея съ какимъ-нибудь раздражителемъ, а именно, неодинаковое развитіе защитительнаго апоневроза на ея поверхность. Хотя разница эта и не столь значительна, однако вліяніе ея при кратковременномъ воздѣйствіи какого-нибудь химическаго раздражителя на поверхность мышцы едва-ли можетъ подлежать какому-либо сомнѣнію. Благодаря этому въ первыя секунды послѣ погруженія мышцы въ кислоту раздражающее ея дѣйствіе въ ближайшихъ къ ахиллову сухожилью участкахъ, гдѣ апоневрозъ развитъ сильнѣе, не успѣетъ обнаружиться въ полной степени, вслѣдствіе чего выработка CO_2H_2, resp. осмотическое давленіе p_1, здѣсь окажется меньше по сравненію съ тѣмъ, какое должно было бы быть, если бы эта часть мышечной поверхности находилась въ одинаковыхъ условіяхъ съ участками ближайшими къ экватору, а съ уменьшеніемъ величины p уменьшится также отношеніе P/p_1, а вмѣстѣ съ тѣмъ и электродвигательная сила E.

Этому защитительному вліянію апоневроза обязано, между прочимъ, своимъ происхожденіемъ другое явленіе мышечнаго тока, уже давно обратившее на себя вниманіе электрофизіологовъ, а именно часто наблюдаемое на только что обнаженныхъ и совершенно неповрежденныхъ икроножныхъ мышцахъ извращеніе тока, причемъ въ мускулѣ наблюдается слабый нисходящій токъ, вмѣсто нормальнаго восходящаго. Это явленіе, обязанное своимъ происхожденіемъ, по Дю-Буа Реймону, дѣйствію парэлектротоническаго слоя на сухожильномъ концѣ неповрежденной мышцы, съ альтераціонной точки зрѣнія объясняется просто тѣмъ, что менѣе защищенныя апоневрозомъ части мышечной поверхности у экватора, подъ вліяніемъ начавшагося высыханія, приходятъ въ раздраженное состояніе и являются отрицательными по отношенію къ болѣе защищеннымъ участкамъ, лежащимъ ближе къ нижнему сухожильному концу.

Мышечный токъ, достигшій максимальной силы, начинаетъ затѣмъ угасать, причемъ, какъ видно изъ вышеприведенныхъ опытовъ, это угасаніе сначало идетъ быстро, а затѣмъ мѣлен-

нѣе въ теченіе нѣсколькихъ часовъ, въ зависимости отъ того, производится ли опытъ во влажной камерѣ или нѣтъ, и вообще отъ жизнеспособности взятой мышцы. Это ослабленіе силы первоначальнаго тока нельзя разсматривать просто, какъ заключающее отъ уменьшенія продукціи угольной кислоты раздраженной поверхностью, которая начинаетъ постепенно умирать, такъ какъ равномѣрное уменьшеніе продукціи CO_2H_2 по всей поверхности, какъ только что замѣчено, не могло бы вызвать паденія электромоторной силы. Причину этого уменьшенія слѣдуетъ видѣть въ томъ обстоятельствѣ, что при опредѣленіи осмотическихъ давленій при малыхъ количествахъ угольной кислоты, вырабатываемыхъ умирающей поверхностью мышцы, нельзя уже пренебрегать тѣмъ незначительнымъ количествомъ ея, которое вырабатывается внутри мышцы, хотя и находящейся въ покоѣ. Легко видѣть, что для вычисленія окончательной величины осмотическаго давленія въ двухъ какихъ нибудь участкахъ мышцы при этихъ условіяхъ, необходимо къ величинамъ p и p_1, выражающимъ величину той части осмотическаго давленія, которая должна быть отнесена на счетъ CO_2H_2, вырабатываемой раздраженной мышечной поверхностью, прибавить величину p_0, происходящую отъ угольной кислоты, продуцируемой «покойнымъ» мышечнымъ веществомъ внутри мускула; $p + p_0$ и $p_1 + p_0$ будутъ выражать настоящія величины осмотическихъ давленій въ этихъ двухъ участкахъ, и ихъ отношеніе $\frac{p + p_0}{p_1 + p_0}$ должно быть вставлено въ формулу для электромоторной силы получающагося при этомъ тока. Если величина p_0 незначительна по сравненію съ p и p_1, то ею можно совсѣмъ пренебречь, и мы получимъ для отношенія осмотическихъ давленій выраженіе $\frac{p}{p_1}$, т. е. то, которымъ пользовались при вычисленіи силы тока только что приготовленной мышцы; если же p_0 не очень мало сравнительно съ p и p_1, то она будетъ оказывать большее или меньшее вліяніе на величину отношенія $\frac{p + p_0}{p_1 + p_0}$, причемъ это отношеніе будетъ, по мѣрѣ увеличенія p_0, приближаться къ единицѣ, а логарномъ его (и слѣд. величина E) — къ нулю. Если p_0 сдѣлается очень велико по сравненію съ p и p_1, то этими послѣдними можно пренебречь въ свою очередь, и тогда мы получимъ (α, стр. 72):

$$E = 0{,}043 \log \frac{p + p_0}{p_1 + p_0} = 0{,}043 \log \frac{o + p_0}{o + p_0} = 0{,}043 \log 1 = 0;$$

т. е. будемъ имѣть дѣло съ случаемъ, гдѣ количество CO_2H_2, вырабатываемой въ двухъ отводимыхъ мѣстахъ на поверхности мышцы, настолько незначительно по сравненію съ общимъ ея количествомъ въ мышечномъ веществѣ, что совершенно не вліяетъ на величину ея осмотическаго давленія въ подлежащихъ участкахъ внутри мышцы; въ этомъ случаѣ вліяніе раздраженной поверхности совершенно стушевывается и конусообразная мышца будетъ представляться совсѣмъ лишенной токовъ, какъ въ томъ случаѣ, когда поверхность ея вовсе не подвергалась раздраженію. Но обыкновенно до этого не доходитъ, и токъ продолжается до самой смерти мышцы, медленно потухая (опытъ VII). Ослабѣвшій такимъ образомъ мышечный токъ можетъ быть однако возстановленъ, если мышцу снова погрузить на 1—2 минуты въ кислоту; причемъ вмѣсто верхняго, почти уже умершаго и потому перестающаго вырабатывать углекислоту, слоя мышечнаго вещества приходятъ въ раздраженіе нижележащіе неповрежденные слои его (опытъ IX) [1].

Намъ остается еще устранить возможность одного очень серьезнаго возраженія.

Во всѣхъ вышеприведенныхъ разсужденіяхъ, гдѣ только дѣло касалось опредѣленія величины осмотическаго давленія въ различныхъ мѣстахъ конусообразной мышцы, мы предпо-

[1] Только что приведенное объясненіе постепеннаго угасанія электромоторной силы токовъ конусообразныхъ мышцъ совершенно приѣмлемо и къ объясненію такого же уменьшенія силы токовъ наклоненія при постепенномъ отмираніи мышечнаго вещества на поверхности поперечнаго разрѣза, гдѣ равнымъ образомъ сила эта зависитъ не отъ абсолютной величины осмотическихъ давленій у верхушекъ тупого и остраго угловъ, а отъ ихъ отношенія, такъ что тоже можетъ возникнуть вопросъ, почему эта сила уменьшается въ то время, какъ при постепенномъ и равномѣрномъ уменьшеніи продукціи угольной кислоты на поверхности поперечнаго разрѣза отношеніе $P:p_1$ остается безъ измѣненія. Такимъ же образомъ объясняется слабость какъ токовъ наклоненія, такъ и токовъ конусообразныхъ мышцъ, которую часто приходится наблюдать на препаратахъ, взятыхъ отъ лягушекъ, почему-либо очень ослабѣвшихъ и вялыхъ. Напримѣръ, при опытахъ, производимыхъ весной и лѣтомъ на прошлогоднихъ, уже перезимовавшихъ въ лабораторіи лягушкахъ, сплошь и рядомъ получаются чрезвычайно слабые токи, которые не удается усилить смачиваніемъ кислотой, нанесеніемъ новаго поперечнаго разрѣза и т. д.

лагали, что угольная кислота, образующаяся на поверхности каждаго мышечнаго сегмента, заключающагося между двумя очень близко отстоящими сѣченіями, перпендикулярными оси мышцы, напр. KL и IN (фиг. 15), распредѣляется совершенно равномѣрно по всѣму сегменту IKLN. Однако уже a priori очень трудно допустить, чтобы это было такъ въ дѣйствительности. Въ самомъ дѣлѣ, мы видѣли, что для развитія максимальнаго тока икроножной мышцы требуется сравнительно очень небольшое время (около 2 минутъ) соприкосновенія ея поверхности съ раздражающимъ веществомъ, причемъ изъ этого короткаго промежутка слѣдуетъ еще откинуть извѣстное время, нужное для проникновенія раздражителя черезъ защитительный апоневрозъ. Допустить, что въ такой короткій промежутокъ времени вырабатываемая на поверхности CO_2H_2 успѣетъ проникнуть до самой средины мышцы и совершенно равномѣрно распредѣлится въ мышечномъ веществѣ сегмента IKLN, невозможно.

Дѣло въ томъ, что поступательное движеніе частицъ диффундирующихъ веществъ при обыкновенныхъ условіяхъ представляется весьма медленнымъ, не превышая 0,1—0.2 mm. въ минуту [1]), такъ что для прохожденія пути отъ поверхности до оси мышечнаго конуса въ самой толстой части икроножной мышцы (около 3 mm.) потребовалось-бы по крайней мѣрѣ 15—20 минутъ времени.

Однако по отношенію къ живой мышцѣ имѣется нѣсколько условій, наличность которыхъ вполнѣ достаточна для того, чтобы объяснить столь быстрое распространеніе вырабатываемыхъ на поверхности мышцы іоновъ по всей толщѣ каждаго отдѣльнаго поперечнаго сѣченія мышечнаго конуса.

Прежде всего слѣдуетъ указать на то обстоятельство, что диффузія образующейся на поверхности конусообразной мышцы угольной кислоты можетъ совершаться вглубь мышцы двумя путями: во-первыхъ, часть CO_2H_2 можетъ диффундировать въ веще-

[1]) F. Voigländer (Über die Diffusion in Agargallerte. Zeitschr. physik. Chem. Bd. III, SS. 316—335) нашелъ, что диффузія сѣрной кислоты въ 2% агарѣ при 0° совершается со скоростью 8 миллим. въ часъ; въ водѣ нѣсколько быстрѣе.

ство мускула совершенно такимъ же порядкомъ, какимъ совершается диффузія въ какомъ-нибудь гомогеннномъ студенистомъ веществѣ, напр. желатинѣ, т. е. іоны и нераспавшіяся молекулы CO_2H_2, вырабатываемые раздраженной клѣточной протоплазмой на поверхности мускула, будутъ двигаться внутри полужидкой протоплазмы, переходя по соединяющимъ отдѣльныя клѣточки протоплазматическимъ мостикамъ отъ одной клѣтки къ другой, вплоть до самой средины мышечнаго конуса; во-вторыхъ, распространеніе вырабатываемой на поверхности мускула угольной кислоты вглубь можетъ совершаться при посредствѣ сковыхъ щелей и лимфатическихъ путей, въ которые попадаетъ образующаяся внутри раздраженныхъ участковъ клѣточной протоплазмы CO_2H_2.

Въ отношеніи перваго пути распространенія угольной кислоты слѣдуетъ замѣтить, что ускореніе передвиженія по немъ диффундирующихъ продуктовъ, а въ томъ числѣ и углекислоты, можетъ обусловливаться тѣми передвиженіями плазматическихъ соковъ, которыя происходятъ внутри клѣточки и извѣстны подъ названіемъ Zellsrtömungen, и которыя отчасти, быть можетъ, вызываются благодаря амебоиднымъ движеніямъ самихъ соединительнотканныхъ клѣточекъ, по которымъ главнымъ образомъ и должно совершаться такое передвиженіе угольной кислоты съ поверхности мышцы въ глубину (ибо собственно-мышечныя образованія—волокна, будучи покрыты плотной сарколеммой, должны представлять значительныя препятствія для такой диффузіи,—см. ниже, гл. VIII). Что же касается до распространенія угольной кислоты черезъ межклѣточныя щели и лимфатическіе пути, то вліяніе такового на быстрое проникновеніе ея вглубь мышцы не можетъ подлежать никакому сомнѣнію. Дѣло въ томъ, что хотя на вырѣзанной лягушечной мышцѣ, за отсутствіемъ въ ней кровообращенія, не можетъ быть такого движенія соковъ, какъ въ нормальномъ состояніи, однако замѣняющими нагнетательную силу сердца моментами являются здѣсь, во-первыхъ, самопроизвольныя ритмическія сокращенія стѣнокъ лимфатическихъ сосудовъ, которыя, какъ доказано проф. Тархановымъ, могутъ зависѣть не только отъ дѣйствія заложенныхъ въ стѣнахъ бо-

лѣе крупныхъ сосудовъ гладкихъ мышечныхъ волоконъ, но и отъ самостоятельныхъ сократительныхъ движеній эндотеліальныхъ клѣтокъ болѣе тонкихъ лимфатическихъ путей, а вовторыхъ — сокращенія и фибриллярныя подергиванія мышечныхъ пучковъ самой мышцы; эти фибриллярныя подергиванія, которыя весьма ясно выступаютъ въ первыя минуты на препаратахъ, приготовленныхъ для электрометрическихъ опытовъ, и которыя зависятъ отъ раздражающаго дѣйствія кислоты на поверхность мышцы, — должны въ значительной мѣрѣ способствовать циркуляціи мышечныхъ соковъ [1]).

Совокупность этихъ условій совершенно достаточна для того, чтобы вызвать болѣе или менѣе равномѣрное распредѣленіе угольной кислоты внутри каждаго поперечнаго сѣченія мышечнаго конуса, въ теченіе такого, сравнительно не очень короткаго времени, какъ 4 — 5 минутъ, (считая 2 минуты на держаніе въ кислотѣ и 2 — 3 минуты на послѣдующія манипуляціи: промывку, осушку и отведеніе тока въ гальванометръ). Въ тѣхъ случаяхъ, когда этого времени оказалось бы недостаточнымъ для равномѣрнаго распредѣленія углекислоты до самой оси мышечнаго конуса, мы должны ожидать, что максимумъ электромоторной силы мышечнаго тока появится не сейчасъ же по отведеніи, а болѣе или менѣе долгое время спустя, — это обстоятельство, какъ указано выше, и наблюдается часто въ дѣйствительности.

[1]) Здѣсь слѣдуетъ замѣтить, что значеніе лимфатическихъ путей при распредѣленіи угольной кислоты внутри мышечнаго конуса отнюдь не уменьшается отъ того обстоятельства, что угольная кислота является внутри живой протоплазмы, быть можетъ, совсѣмъ въ другомъ видѣ, — напр. въ формѣ бѣлково-угольной кислоты, — чѣмъ въ лимфѣ, такъ какъ нѣтъ, разумѣется, никакой надобности, чтобы каждая вырабатываемая на поверхности мышцы молекула угольной кислоты достигла по лимфатическимъ путямъ до средины мышечнаго конуса и здѣсь проникла, какъ таковая, внутрь протоплазмы находящихся тамъ нераздраженныхъ живыхъ клѣточекъ: накопленіе угольной кислоты въ межклѣточныхъ пространствахъ само по себѣ достаточно для того, чтобы вызвать вторичнымъ путемъ накопленіе ея, или ея производнаго — бѣлково-угольной кислоты, и въ самомъ существѣ лежащихъ здѣсь живыхъ клѣтокъ путемъ задержки, которая будетъ происходить благодаря этому въ выдѣленіи изъ клѣтокъ образующейся въ нихъ самихъ, хотя и въ маломъ количествѣ, угольной или бѣлково-угольной кислоты.

Глава VII.

Нѣкоторыя особенности электролитической диффузіи внутри неоднородныхъ влажныхъ проводниковъ и явленія мышечнаго тока, стоящія въ связи съ ними [1]).

Въ предыдущихъ главахъ, вездѣ гдѣ дѣло касалось электрическаго тока, возникающаго при отведеніи отъ двухъ растворовъ неодинаковой концентраціи, или двухъ участковъ мышцы съ неодинаковымъ осмотическимъ давленіемъ CO_2H_2, предполагалось, что отведеніе въ цѣпь гальванометра производится непосредственно отъ того и другаго изъ этихъ неодинаково концентрированныхъ растворовъ, или двухъ разсматри-

[1]) Теоретическая часть этой главы, касающаяся вліянія на электродвигательную силу диффузіонныхъ токовъ различныхъ моментовъ, обусловливающихъ большую или меньшую легкость перехода іоновъ изъ болѣе концентрированнаго раствора въ менѣе концентрированный въ зависимости отъ препятствій, которое они встрѣчаютъ какъ разъ на границѣ соприкосновенія этихъ двухъ растворовъ, имѣетъ чрезвычайно важное значеніе для всего послѣдующаго изложенія развиваемаго нами взгляда на сущность электрическихъ феноменовъ, наблюдаемыхъ на живыхъ тканяхъ. Къ сожалѣнію, нигдѣ изъ извѣстныхъ мнѣ руководствъ и монографій по электрохиміи и физикѣ я не могъ найти систематическаго разбора вліяній на электродвигательную силу диффузіоннаго тока со стороны препятствій, какія приходится преодолѣвать іонамъ на мѣстѣ перехода изъ одного раствора въ другой въ зависимости отъ свойствъ отдѣляющей растворы перепонки, такъ что пришлось положить содержащуюся ниже теорію этихъ явленій на свой собственный страхъ и рискъ. Я думаю, однако, что если бы мои объясненія и оказались не вполнѣ точными съ научно-физической точки зрѣнія, то во всякомъ случаѣ въ нихъ не заключается ничего невѣрнаго по существу, такъ какъ всѣ выводы, сейчасъ-же могутъ быть повѣрены путемъ описанныхъ опытовъ. Въ концѣ этой главы приведены кое-какія скудныя данныя, касающіяся вліянія на электролизъ нѣкоторыхъ органическихъ и неорганическихъ перепонокъ,

ваемыхъ точекъ съ различнымъ осмотическимъ давленіемъ. Между тѣмъ при отведеніи тока отъ живыхъ тканей такое условіе, можно сказать, почти никогда не имѣетъ мѣста, во-первыхъ—потому, что между кончикомъ электрода, отводящаго токъ, напр. отъ поверхности конусообразной мышцы, и «дѣйствующими» слоями этой мышцы всегда будетъ находиться болѣе или менѣе толстый «недѣйствующій» слой изъ соединительной ткани, уже умершихъ мышечныхъ элементовъ и т. д., который служитъ только въ качествѣ индифферентнаго влажнаго проводника, а во-вторыхъ—потому, что неполяризующіе электроды, которые употребляются обыкновенно для такого рода опытовъ, устроены такъ, что токъ, прежде чѣмъ достигнуть проволочной цѣпи гальванометра, долженъ пройти рядъ влажныхъ неметаллическихъ проводниковъ.

Наиболѣе часто употребляемые въ физіологическихъ лабораторіяхъ неполяризующіеся электроды Дю-Буа Реймона устраиваются, какъ извѣстно, такимъ образомъ, что въ небольшую стеклянную трубочку, длиною въ нѣсколько сантиметровъ, наливается концентрированный растворъ хлористаго цинка, въ который погружается соединенный съ проволокой гальванометра цинковый же, амальгамированный электродъ; нижній конецъ трубочки залѣпляется предварительно кускомъ глины, замѣшанной на $^1/_2{}^0/_0$ физіологическомъ растворѣ NaCl, благодаря чему наконечнику можно придать какую угодно форму. Такимъ образомъ живая ткань не соприкасается прямо съ металлическимъ электродомъ, а съ глиной, напитанной $^1/_2{}^0/_0$ растворомъ поваренной соли, совершенно безразличнымъ для живого вещества, но при этомъ токъ отъ отводнаго мѣста, прежде чѣмъ достигнуть металлическаго цинковаго электрода, долженъ пройти черезъ два влажныхъ проводника: глину, resp. $0{,}6{}^0/_0$ растворъ хлористаго натра, и концентрированный растворъ хлористаго цинка. А такъ какъ проведеніе тока совершается въ этихъ влажныхъ проводникахъ, какъ и во всякомъ электролитѣ, исключительно при помощи электролитической диффузіи іоновъ, то естественно можетъ возникнуть вопросъ, не направляется ли часть образующихся на отводимомъ мѣстѣ, напримѣръ поперечномъ разрѣзѣ мышцы, іоновъ CO_3H_2 въ глину отводящаго электрода, пройдя предварительно черезъ болѣе или менѣе толстый слой уже отмершей, т. е. индифферентно проводящей ткани между глиняными наконечникомъ и находящимся въ дѣятельномъ состояніи слоемъ ткани,—вмѣсто того, чтобы диффундировать въ противоположномъ направленіи—къ поперечному разрѣзу. Если бы такое явленіе имѣло мѣсто, то оно, очевидно, не могло бы остаться безъ вліянія на величину электродвигательной силы мышечнаго препарата.

Чтобы рѣшить этотъ вопросъ, намъ необходимо вернуться къ разсмотрѣнному во 2-й главѣ концентраціонному элементу, составленному изъ неодинаково концентрированныхъ растворовъ какого-нибудь электролита, раздѣленныхъ пористой перегородкой. Представимъ себѣ сосудъ (фиг. 17), раздѣленный посредствомъ 2-хъ пористыхъ перегородокъ на три отдѣла: A, B и C. Въ части B содержится болѣе концентрированный (осм. дав. p_0), а въ A и C менѣе концентрированные растворы (осм. дав. p_1 и p_2) какого-нибудь электролита, напр. HCl. Погрузимъ въ B и C два отводящихъ электрода, которые соединимъ съ гальванометромъ. Вслѣдствіе диффузіи іоновъ HCl изъ болѣе концентрированнаго раствора B въ менѣе концентрированный C, появится электрическій токъ, идущій въ растворѣ въ томъ же направленіи (въ цѣпи обратно); электромоторная сила его можетъ быть вычислена по формулѣ:

$$E_2 = \frac{RT}{C} \log \text{nat} \frac{p_0}{p_2};$$

точно такъ же, если-бы погрузить электроды въ B и A, то обнаружился бы токъ въ направленіи отъ B къ A, электродвигательная сила котораго:

$$E_1 = \frac{RT}{C} \log \text{nat} \frac{p_0}{p_1}.$$

перегородокъ изъ глины и т. п., находящихся на пути тока, проходящаго черезъ растворъ отъ внѣшняго электромоторнаго источника. Хотя въ нихъ очень трудно вывести какое-нибудь опредѣленное заключеніе относительно характера явленій, которыми долженъ сопровождаться переходъ іоновъ черезъ различныя перепонки, однако нѣкоторое представленіе объ этомъ процессѣ все-таки можно составить.

Пусть теперь одинъ электродъ погруженъ, какъ и въ первомъ случаѣ, въ C, но другой перенесемъ изъ B въ A, такъ что растворъ B, находясь между ними, будетъ также находиться въ цѣпи, хотя токъ отъ него непосредственно и не отводится. Теперь, слѣдовательно, въ цѣпи будетъ два паденія потенціала въ противоположномъ направленіи—между B и C и между B и A. Въ результатѣ этого долженъ появиться электрическій токъ въ томъ направленіи, по которому паденіе потенціала больше, причемъ электродвигательная сила его E будетъ равна разности $E_1 - E_2$. Величины же E_1 и E_2, очевидно, будутъ тѣмъ больше, чѣмъ слабѣе концентраціи растворовъ A и C по сравненію съ концентраціей раствора B, т. е. чѣмъ меньше осмотическія давленія p_1 и p_2 по сравненію съ p_0. Если, напр., растворъ C менѣе концентрированъ сравнительно съ A, то паденіе потенціала $^{B}/_{C}$, равное E_1, будетъ бо́льше паденія потенціала $^{B}/_{A} = E_2$, такъ что при погруженіи электродовъ въ A и B получится токъ, направленіе котораго будетъ совпадать съ паденіемъ потенціала $^{B}/_{C}$, т. е. онъ будетъ проходить черезъ всѣ три раствора въ направленіи отъ A къ B и C. Электродвигательная сила этого тока выразится черезъ:

$$E = E_2 - E_1 = \frac{RT}{C} \log \text{nat} \frac{p_0}{p_2} - \frac{RT}{C} \log \text{nat} \frac{p_0}{p_1} = \frac{RT}{C} \log \text{nat} \frac{p_1}{p_2},$$

т. е. величина ея будетъ совершенно такая же, какая получилась бы, если бы растворa B совсѣмъ не было, и растворы A и C соприкасались непосредственно.

Если концентраціи растворовъ A и C одинаковы, то паденія потенціаловъ $^{B}/_{A}$ и $^{B}/_{C}$ будутъ одинаковы, и тогда, слѣдовательно, получимъ:

$$E = E_1 - E_2 = 0,$$

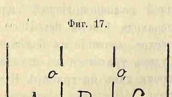
т. е. тока совсѣмъ не будетъ, хотя электродвигательныя силы E_1 и E_2 каждая въ отдѣльности (т. е. при отведеніи порознь отъ B—A и B—C) могутъ быть очень значительны.

Отсюда видно, какая разница въ результатахъ можетъ получиться въ зависимости отъ того обстоятельства, отводится ли токъ отъ двухъ неодинаково концентрированныхъ растворовъ, напр. отъ C и отъ B, непосредственно, или при посредствѣ *другаго влажнаго проводника*, каковымъ въ данномъ случаѣ является растворъ A, который, очевидно, можно разсматривать, какъ влажный электродъ, только очень большихъ размѣровъ, отводящій токъ отъ B.

Предположимъ теперь, что отведеніе сдѣлано при только что описанной обстановкѣ отъ A и C, причемъ концентраціи растворовъ A и C одинаковы; тогда, какъ только что сказано, паденія потенціаловъ на границахъ обоихъ этихъ растворовъ съ растворомъ B будутъ также одинаковы по величинѣ, но направлены въ противоположныя стороны, такъ что въ результатѣ въ гальванометрѣ вовсе не появится тока.

Введемъ на границѣ растворовъ B и A какую-нибудь внѣшнюю электромоторную силу, которая дѣйствовала бы въ направленіи, противоположномъ дѣйствію диффузіоннаго тока, т. е. отъ A къ B. Если величина этой внѣшней электромоторной силы какъ разъ будетъ равна электродвигательной силѣ диффузіоннаго тока $^{B}/_{A}$, то она вполнѣ его компенсируетъ, такъ что въ результатѣ останется одна только электродвигательная сила на границѣ B и C, которая немедленно обнаружитъ свое дѣйствіе на гальванометрѣ въ формѣ электрическаго тока, идущаго по направленію отъ B къ C. Такимъ образомъ, конечный результатъ будетъ такой же самый, какъ если бы токъ отводился только отъ растворовъ B и C, а растворa A совсѣмъ не было. Растворъ A, слѣдовательно, является здѣсь въ роли совершенно индифферентнаго влажнаго проводника. Очевидно, что если бы электромоторная сила введенной внѣшней батареи была меньше, чѣмъ паденіе потенціала на границѣ B и A, то компенсація этого послѣдняго была бы неполная, т. е. появившійся въ гальванометрѣ токъ былъ бы слабѣе.

Фиг. 17.



Что касается до способа дѣйствія введенной внѣшней компенсирующей электромоторной силы, то онъ, согласно теоріи іоновъ, долженъ состоять въ томъ, что сила эта, дѣйствуя въ сторону противоположную *осмотическому давленію іоновъ HCl*, будетъ болѣе или менѣе тормозить диффузію ихъ изъ раствора B въ A, или совсѣмъ ее задержитъ, благодаря чему и паденія потенціала здѣсь не получится.

Такимъ образомъ, въ этомъ случаѣ, чтобы уничтожить паденіе потенціала на границѣ B и A, мы компенсируемъ осмотическое давленіе іоновъ HCl, стремящихся перейти изъ болѣе концентрированнаго раствора B въ менѣе концентрированный A, въ то время какъ со стороны раствора C такой компенсаціи нѣтъ, и диффузія совершается безпрепятственно. Но очевидно, что того же самаго результата можно достигнуть и не вводя посторонней компенсирующей силы, а увеличивши препятствіе для перехода іоновъ изъ B въ A до такой степени, что осмотическое давленіе въ болѣе или менѣе значительной степени будетъ тратиться на преодолѣніе этого препятствія, въ то время какъ на границѣ B и C диффузія не будетъ задерживаться.

Этого можно добиться, заставивъ растворъ B диффундировать въ A не черезъ простую перегородку изъ обожженной глины, а, напр., черезъ перепонку изъ непроклеенной или фильтровальной бумаги, которая хотя и не принадлежитъ къ числу полупроницаемыхъ перепонокъ (halbdurchlässige Membranen), т. е. пропускаетъ растворенные въ водѣ іоны, но можетъ представить для движенія іоновъ черезъ ея поры такое сопротивленіе, что значительная часть живой силы, развиваемой осмотическимъ давленіемъ, будетъ истрачена на это: получится такой результатъ, какъ будто это давленіе (resp. концентрація раствора B) уменьшилось вслѣдствіе какихъ то причинъ на границѣ съ A, а благодаря этому паденіе потенціала отъ B и A будетъ меньше, чѣмъ на границѣ B и C, гдѣ диффузія происходитъ попрежнему черезъ перегородку изъ пористой глины. Наконецъ, если бы между растворами B и A устроить перегородку, напр. изъ пергамента, или изъ мягкой глины, которая служитъ для

приготовленія неполяризующихся электродовъ, то осмотическое давленіе раствора B почти совершенно компенсировалось бы сопротивленіемъ, которое іоны встрѣчаютъ при движеніи черезъ нее, и дѣйствіе осмотическаго давленія, а слѣдовательно, и паденіе потенціала, здѣсь можно было бы считать равнымъ нулю. Такимъ образомъ, въ этомъ послѣднемъ случаѣ на границѣ раствора B и A совсѣмъ не происходило бы развитія электромоторной силы, и растворъ A опять являлся бы въ роли простого индифферентнаго влажнаго электрода, отводящаго токъ отъ B [1]).

Все вышеизложенное безъ труда можетъ быть провѣрено при помощи самыхъ простыхъ опытовъ. Такъ какъ устройство описаннаго выше сосуда съ тремя отдѣленіями, снабженными пористыми перегородками изъ слабо-обожженной глины можетъ быть затруднительно, то достаточно устроить обыкновенный деревянный ящикъ, небольшой величины и раздѣленный на три отдѣленія деревянными перегородками изъ тонкихъ досточекъ, пригнанныхъ настолько плотно, чтобы не пропускать воды изъ одного отдѣленія въ другое (для послѣдней цѣли не лишнее замазать всѣ щели съ внутренней стороны ящика менделѣевской замазкой). Въ перегородкахъ должны быть выпилены окна (o и o_1, фиг. 17), не очень большой величины, для того чтобы ихъ легко можно было по желанію закрыть перепонкой изъ того или изъ другого матеріала, вліяніе котораго на диффузію мы желаемъ испытать. Для фиксированія такой перепонки (напр. куска обыкновенной фильтровальной бумаги) лучше всего пользоваться пробковыми пластинками, укрѣпляемыми посредствомъ булавокъ или придѣланными на шарнирахъ. Пользуясь такимъ приспособленіемъ, легко подтвердить на опытѣ приведенныя

[1]) Необходимо имѣть въ виду, что препятствіе, подобное вышеописанной перегородкѣ изъ влажной глины, должно находиться какъ разъ на границѣ двухъ жидкостей, т. е. въ томъ именно мѣстѣ, гдѣ, выражаясь фигурально, происходитъ «превращеніе» силы осмотическаго давленія въ электромоторную силу (т. н. переходное сопротивленіе). При несоблюденіи этого условія всякое препятствіе, воздвигнутое на пути тока, напр. посредине отдѣленія A, не будетъ оказывать никакого прямого вліянія на электромоторную силу, а только, увеличивая сопротивленіе въ цѣпи, уменьшитъ силу (густоту) тока.

выше соображенія о вліяніи на диффузіонные электрическіе токи природы перепонки, черезъ которую происходитъ диффузія.

Для этого беремъ два куска обыкновенной фильтровальной бумаги и закрываемъ ими отверстія o и o_1, прижавши бумагу возможно плотно къ краямъ отверстія. Послѣ этого вливаемъ въ среднее отдѣленіе ящичка 5% растворъ соляной или сѣрной кислоты, а въ два крайнія отдѣленія обыкновенной или дистиллированной воды, или же слабый растворъ такой же кислоты, напр. $^1/_{10}$%, такъ чтобы уровень жидкости во всѣхъ трехъ отдѣленіяхъ былъ одинаковъ [1]). Если теперь отвести въ гальванометръ токъ посредствомъ неполяризующихся электродовъ, напр. обыкновенныхъ глиняныхъ, прикасающихся къ поверхности жидкости двухъ крайнихъ отдѣленій, то стрѣлка остается въ покоѣ или обнаруживаетъ только слабыя колебанія въ ту или другую сторону, неопредѣленнаго характера и зависящія отъ разныхъ случайныхъ причинъ, вродѣ, напр., неодинаковой плотности взятыхъ кусковъ бумаги или недостаточно плотнаго прилеганія ихъ къ стѣнкамъ перегородки и т. п.; но стоитъ только перенести одинъ изъ электродовъ изъ крайняго отдѣленія въ среднее, какъ немедленно гальванометръ обнаружитъ присутствіе сильнаго тока, имѣющаго направленіе въ цѣпи гальванометра отъ электрода, прикасающагося къ поверхности жидкости въ крайнемъ отдѣленіи къ тому, который перенесенъ въ среднее, въ самомъ же растворѣ, слѣдовательно, обратное, т. е. отъ болѣе концентрированнаго средняго раствора къ крайнему.

Если теперь, закрывши одно изъ отверстій, какъ и въ первомъ опытѣ, фильтровальной бумагой, другое закроемъ кусочкомъ полотна, черезъ которое диффузія совершается съ гораздо большей легкостью, то при погруженіи отводящихъ электродовъ въ крайніе отдѣлы сосуда, стрѣлка гальванометра не останется уже на нулѣ, а дастъ болѣе или менѣе значительное отклоненіе въ зависимости отъ того, насколько велика разница въ условіяхъ диффузіи черезъ полотно и бумагу. При этомъ токъ всегда будетъ направленъ въ ту сторону, куда диффузія совершается съ большей легкостью; т. е. въ данномъ случаѣ отъ средняго раствора къ тому изъ крайнихъ, который отдѣленъ полотняной тряпочкой. При отведеніи тока отъ средняго раствора и каждаго изъ крайнихъ порознь, равнымъ образомъ замѣчается разница электромоторной силы въ пользу того же крайняго, причемъ электродвигательная сила тока, получающагося при отведеніи отъ крайнихъ растворовъ, будетъ равна разности силъ, получающихся при отведеніи отъ средняго и каждаго изъ крайнихъ въ отдѣльности.

Наконецъ, если одно изъ отверстій закрывается фильтровальной бумагой, а другое залѣпляется вылотную глиной, употребляемой для электродовъ, то при отведеніи отъ обоихъ крайнихъ растворовъ получается сильный токъ въ направленіи отъ средняго къ тому, который отдѣленъ отъ него бумагой. При отведеніи отъ этого послѣдняго и отъ средняго электродвигательная сила получается та же самая [1]), а при отведеніи отъ средняго и отъ другого крайняго, тока вовсе не получится. Такимъ образомъ, въ этомъ случаѣ крайній растворъ, отдѣленный отъ средняго слоемъ глины, диффузіонная проницательность которой минимальна, является въ роли просто индифферентнаго электрода, отводящаго токъ отъ средняго раствора.

Если въ этихъ опытахъ, вмѣсто раствора кислоты, взять растворъ электролита, обладающаго отрицательными іонами съ большей диффузіонной скоростью, то, само собою разумѣется, направленіе получающагося тока во всѣхъ описанныхъ случаяхъ будетъ обратное.

Всѣ вышеприведенные опыты могутъ быть произведены еще проще, если не пользоваться ящикомъ, содержащимъ три раствора, а просто заставить болѣе концентрированный растворъ

[1]) Необходимо производить наливаніе пипетной и при участіи помощника, чтобы уровень жидкости во время наливанія оставался все время одинаковъ во всѣхъ трехъ отдѣленіяхъ, во избѣжаніе проникновенія растворовъ изъ одного отдѣленія въ другое.

[1]) Отклоненіе стрѣлки (густота тока) будетъ больше, вслѣдствіе уменьшенія сопротивленія.

электролита, налитый на блюдце, диффундировать въ фильтровальную бумагу, полоска которой, намоченная въ менѣе концентрированномъ растворѣ, лежитъ на краю блюдца, будучи однимъ концомъ погружена въ налитый на немъ растворъ, а другимъ приведена въ соприкосновеніе съ отводящимъ токъ электродомъ.

Весьма наглядно производится этотъ опытъ въ слѣдующей формѣ: на блюдце наливаемъ 2—5% растворъ соляной или сѣрной кислоты, а на край блюдца вѣшаемъ послѣдовательно: намоченную въ водѣ (или въ слабомъ растворѣ кислоты) полоску фильтровальной бумаги, полоску марли сложенную въ нѣсколько разъ, полоску ваты намоченной въ водѣ и не выжатой, полоску такой же ваты намоченной, но при этомъ старательно выжатой и т. д., и наконецъ продолговатый кусокъ глины,—такъ чтобы всѣ они однимъ концомъ были погружены въ налитую на блюдце жидкость. Если теперь отводить въ гальванометръ токъ такимъ образомъ, чтобы одинъ электродъ касался поверхности налитой на блюдце жидкости, а другой находился въ соприкосновеніи съ лежащимъ на краю блюдца концомъ бумаги, марли и т. д., то гальванометръ немедленно укажетъ присутствіе тока, направленіе котораго будетъ совпадать (при кислотѣ) съ направленіемъ диффузіи, т. е. токъ будетъ идти изъ раствора въ бумагу, вату и т. д., а слѣдовательно, во внѣшней цѣпи—отъ электрода, прикасающагося къ бумагѣ, къ другому, находящемуся въ соприкосновеніи съ жидкостью раствора. Такимъ образомъ растворъ кислоты будетъ всегда отрицателенъ по отношенію къ намоченной въ водѣ бумагѣ, ватѣ и т. п., но при этомъ электродвигательная сила получающаяся при компенсаціи тока, или иными словами степень этой отрицательности, будетъ весьма различна, въ зависимости отъ легкости, съ какой происходитъ диффузія налитой на блюдцѣ кислоты въ воду, смачивающую бумагу, вату и т. д. Наибольшая электродвигательная сила получается при отведеніи отъ напитанной водой и невыжатой ваты, затѣмъ слѣдуетъ марля, фильтровальная бумага и т. д., наконецъ при отведеніи отъ глины тока совсѣмъ не получится, такъ какъ диффузіонная проницаемость ея можетъ быть принята равной нулю.

Если теперь отвести токъ такъ, чтобы оба электрода прикасались къ находящимся на краю блюдца полоскамъ, напр., бумажной и марлевой, то въ гальванометрѣ появится токъ, электродвигательная сила котораго будетъ равна разности силъ, получающихся при отведеніи отъ поверхности налитой въ блюдцѣ жидкости и каждой изъ отводимыхъ полосокъ въ отдѣльности; направленіе получающагося тока будетъ, слѣдовательно, совпадать съ направленіемъ сильнѣйшаго изъ двухъ слагающихъ токовъ, т. е. въ случаѣ отведенія отъ бумажной и марлевой полосокъ токъ будетъ направляться изъ налитой на блюдцѣ жидкости въ марлю, диффузіонная проводимость которой выше, чѣмъ бумажной полоски, и которая такимъ образомъ будетъ положительна (выходящій токъ) по отношенію къ бумагѣ. При отведеніи же отъ бумаги съ одной стороны, и глины — съ другой, диффузіонный токъ направится въ бумагу, которая окажется при этомъ положительной (выходящій токъ), а глина отрицательной (входящій токъ) и т. д. Если, наконецъ, повѣсить на край блюдца вышеописаннымъ образомъ двѣ полоски одной и той же бумаги, или два куска ваты, напитанные водой въ совершенно одинаковой степени, то при отведеніи отъ той и другой никакого тока мы не получимъ; но стоитъ только одинъ изъ кусковъ ваты слегка выжать и тѣмъ уменьшить его диффузіонную проницаемость, какъ немедленно появится токъ, направленіе котораго будетъ изъ раствора въ невыжатую вату, которая такимъ образомъ будетъ играть роль положительнаго электрода по отношенію къ выжатому куску. [1]).

[1]) Очевидно, что если бы только что описаннымъ опытъ установить соединеніе между полосками бумаги и ваты, не включая въ цѣпь ни отводящихъ электродовъ, ни гальванометра, а просто привести въ соприкосновеніе верхніе концы бумаги и ваты, то циркуляція тока будетъ продолжаться въ прежнемъ направленіи, т. е. въ налитой на блюдцѣ жидкости—отъ бумаги къ ватѣ, а снаружи—обратно, отъ ваты къ бумагѣ (доказать это можно, напр., получеміемъ индукціоннаго тока). Такимъ образомъ, изъ этого видно, что въ замкнутомъ кругу, состоящемъ изъ однихъ только влажныхъ проводниковъ, возможно появленіе электрическаго тока, что не можетъ быть въ замкнутомъ кругу, состоящемъ изъ однихъ только металловъ (законъ Вольта).

Здѣсь слѣдуетъ еще замѣтить, что круговое движеніе электричества въ цѣпи изъ однихъ влажныхъ проводниковъ можетъ быть достигнуто и безъ

Возвращаясь теперь къ вопросу о возможности невѣрнаго измѣренія электромоторной силы живыхъ тканей при употребленіи неполяризующихся влажныхъ электродовъ, мы видимъ, что такое мнѣніе совершенно неосновательно по отношенію къ электродамъ изъ влажной глины, которая, на основаніи вышеизложеннаго, можетъ быть разсматриваема какъ проводникъ совершенно индифферентный къ проходящему по нему току, подобно металлу, съ тою только разницею, что при этомъ устраняется возможность развитія побочныхъ токовъ поляризаціи, вслѣдствіе соприкосновенія жидкости живой ткани съ металлическими электродами.

Точно также не можетъ оказывать здѣсь вліянія и присутствіе отмершихъ уже слоевъ ткани и соединительнотканныхъ перепонокъ между «дѣйствующимъ» раздражаемымъ мѣстомъ и концомъ отводящаго электрода, такъ какъ они представляютъ почти такое же отношеніе къ осмотическому давленію іоновъ, какъ влажная глина наконечника электродовъ: проникновеніе іоновъ черезъ этотъ слой является чрезвычайно затруднительнымъ, и одного этого слоя достаточно, чтобы всю массу ихъ направить въ противоположную сторону, т. е. отъ электрода къ живой ткани, находящейся въ состоянiи покоя.

наличности условій для неравномѣрной диффузіи іоновъ въ ту и другую сторону отъ мѣста ихъ скопленія, но при этомъ необходимо участіе по крайней мѣрѣ трехъ или четырехъ неодинаково концентрированныхъ растворовъ двухъ электролитовъ. Такъ, напримѣръ, если соединимъ въ круговомъ порядкѣ слѣдующіе четыре

растворы: $1^0/_0 NaCl$ — $0{,}1^0/_0 NaCl$ — $1^0/_0 HCl$ — $0{,}1^0/_0 HCl$, то въ этомъ кругу возникнетъ токъ

изъ направленія противоположнаго движенію часовой стрѣлки, вслѣдствіе того, что между растворами NaCl появится паденіе потенціала въ направленія обратномъ совершающейся диффузіи, т. е. отъ менѣе концентрированнаго раствора къ болѣе концентрированному (верхняя стрѣлка), тогда какъ въ растворѣ HCl — отъ болѣе концентрированнаго (нижн. стрѣлка); что же касается до паденія потенціала между растворами NaCl и HCl, то они, будучи направлены въ противоположныя стороны (боковыя стрѣлки), будутъ въ то же время равны по силѣ, ибо послѣдняя зависитъ только отъ отношеній осмотическихъ давленій (въ данномъ случаѣ 1 : 1 и 0,1 : 0,1), а не отъ абсолютной ихъ величины,—а потому взаимно уничтожаютъ другъ друга.

На этомъ основаніи, для устраненія возможности диффузіи іоновъ въ электродъ, нѣтъ надобности пользоваться непремѣнно глинянымъ наконечникомъ для отводящихъ электродовъ,—можно вмѣсто глины употребить вату (Тархановъ-Вартановъ), или устроить прямо соприкосновеніе съ физіологическимъ растворомъ, какъ это сдѣлано въ электродахъ д'Арсонваля, гдѣ серебряная, покрытая на концѣ слоемъ хлористаго серебра, проволока вставляется въ стеклянную трубочку, наполненную физіологическимъ растворомъ поваренной соли, и плотно закрытую сверху, такъ чтобы давленіе наружнаго воздуха не дозволяло раствору выливаться черезъ открытый и суженный нижній конецъ, который и прикладывается къ отводимому мѣсту. Эти электроды имѣютъ то преимущество передъ глиняными электродами Дю-Буа Реймона, что здѣсь нѣтъ слоя глины, представляющаго весьма сильное сопротивленіе для электрическаго тока.

Изложенныя выше соображенія о неодинаковой легкости перехода іоновъ въ разныя стороны отъ мѣста ихъ накопленія и о вліяніи этого обстоятельства на возникновеніе и величину развивающейся при этомъ электромоторной силы, кромѣ теоріи неполяризующихся электродовъ, имѣютъ для насъ большое значеніе и въ другомъ отношеніи, а именно, они даютъ ключъ къ уразумѣнію того загадочнаго явленія, которое Германъ первый достаточно оттѣнилъ и положилъ въ основу своей теоріи подъ именемъ «демаркаціоннаго тока отмиранія».

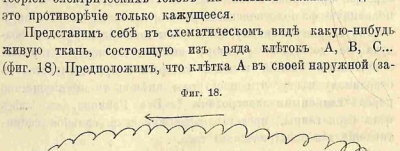
Какъ сказано выше, это явленіе, сдѣлавшееся основной теоремой Германа и неоспоримо доказанное, состоитъ въ томъ, что развитіе электромоторной силы во всѣхъ случаяхъ мышечнаго, нервнаго и т. д. тока происходитъ вслѣдствіе образованія «демаркаціонной плоскости» между отмирающей, resp. раздраженной, и покойной протоплазмой, и сверхъ того при томъ только условіи, *если обѣ части протоплазмы составляютъ одно цѣлое*. Если же это послѣднее условіе не соблюдено, то и тока не будетъ. Такимъ образомъ, какъ доказалъ Энгельманнъ (cp. Biederm. Elektrophysiol. I, S. 294 II, S. 641), на сердцѣ и гладкихъ мышечныхъ волокнахъ отрицательность поперечнаго разрѣза теряется, послѣ того какъ

поперечно перерѣзанныя мышечныя клѣтки отмерли вплоть до спайнаго вещества смежныхъ клѣтокъ, точно также и на нервахъ, когда перерѣзанныя мѣста отмерли до ближайшихъ перехватовъ Ранвье; то же самое доказано относительно растеній (см. ниже гл. XI).

На первый взглядъ можетъ показаться, что эти факты совершенно не вяжутся съ развиваемой нами концентраціонной теоріей электрическихъ токовъ на живыхъ тканяхъ. Однако это противорѣчіе только кажущееся.

Представимъ себѣ въ схематическомъ видѣ какую-нибудь живую ткань, состоящую изъ ряда клѣтокъ A, B, C... (фиг. 18). Предположимъ, что клѣтка A въ своей наружной (заштрихованной) части подвергается раздраженію, ведущему за собой процессъ отмиранія. Тогда, вслѣдствіе накопленія кислотныхъ продуктовъ метаморфоза въ отмирающей (заштрихованной) части, на пограничной поверхности между умирающими и живыми частями протоплазмы (resp. раздраженной и покойной) возникаетъ демаркаціонная плоскость, и при отведеніи въ гальванометръ обнаруживается присутствіе электрическаго тока, направленнаго въ ткани отъ раздраженной части къ покойной, какъ указываетъ стрѣлка. Предположимъ теперь, что процессъ отмиранія захватитъ всю клѣтку A вплоть до спайки *ab*, отдѣляющей ее отъ прилежащей клѣтки B. Тогда вся протоплаза A будетъ содержать болѣе или менѣе значительное количество продуктовъ усиленнаго обмѣна, которые, повидимому, должны диффундировать въ прежнемъ направленіи, какъ показываетъ стрѣлка, отъ A къ B, гдѣ концентрація ихъ меньше. Однако, какъ сказано, гальванометръ обнаруживаетъ при этомъ присутствіе гораздо болѣе слабаго тока, чѣмъ раньше, или даже полное отсутствіе его.

Фиг. 18.



Причина уменьшенія электромоторной силы концентраціоннаго тока можетъ быть только двоякая: или разница между осмотическими давленіями растворовъ сдѣлалась менѣе значительна, или же равновѣсіе осмотическаго давленія измѣнилось такимъ образомъ, что благопріятныя условія для диффузіи іоновъ въ прежнемъ направленіи исчезли. Первое обстоятельство, очевидно, не можетъ играть роли въ данномъ случаѣ, такъ какъ диффузія совершается попрежнему между протоплазмой отмирающей, т. е. раздраженной ad maximum, съ одной стороны, и находящейся въ покоѣ — съ другой. Необходимо, слѣдовательно, заключить, что произошло какое то измѣненіе въ условіяхъ диффузіи іоновъ. Принявъ во вниманіе все изложенное выше относительно развитія тока при диффузіи іоновъ черезъ трудно проницаемыя перепонки, влажную глину и т. п., не трудно понять, почему и здѣсь электродвигательная сила сразу падаетъ, какъ только демаркаціонная плоскость отмиранія дошла до перегородки *ab*.

Въ самомъ дѣлѣ, пока процессъ отмиранія захватилъ только наружную (заштрихованную) часть протоплазмы, диффузія накопляющихся здѣсь подъ значительнымъ осмотическимъ давленіемъ продуктовъ регрессивнаго метаморфоза происходила совершенно свободно въ сторону спокойной (не заштрихованной) половины, тогда какъ распространеніе ихъ въ противоположную сторону, гдѣ приложенъ неполяризующійся электродъ, препятствуетъ наружная оболочка клѣтки (*cd*) и отмершія уже слои ткани [1]), находящіеся между демаркаціонной плоскостью и концемъ электрода (даже если самъ элек-

[1]) Отмершія части живой протоплазмы, вслѣдствіе свертыванія, должны представлять значительное препятствіе для движенія іоновъ, хотя общее сопротивленіе умершей ткани in toto, напримѣръ мышцы, можетъ быть и меньше чѣмъ живой, благодаря уменьшенію внутренней поляризаціи вслѣдствіе того, что все вещество ея дѣлается болѣе однороднымъ.

тродъ устроенъ такъ, что не препятствуетъ свободному проникновенію іоновъ въ его наконечникъ, какъ напримѣръ электродъ д'Арсонваля). Но какъ только процессъ отмиранія распространился на всю протоплазму клѣтки A вплоть до спайнаго вещества *ab*, отдѣляющаго ее отъ клѣтки B, то картина сразу мѣняется, такъ какъ теперь сконившіеся въ клѣткѣ A іоны, при переходѣ въ менѣе концентрированное состояніе въ клѣтку B, встрѣчаютъ на мѣстѣ перегородки *ab* не меньшее препятствіе, чѣмъ при переходѣ въ наконечникъ электрода m. Поэтому вмѣсто свободнаго тока іоновъ въ направленіи стрѣлки, какъ при частичномъ отмираніи протоплазмы, будетъ происходить двухсторонняя диффузія ихъ, въ направленіи отъ A къ B и въ обратномъ — отъ A въ наконечникъ электрода m, причемъ условія для диффузіи въ ту и въ другую сторону будутъ болѣе или менѣе одинаковы.

Такимъ образомъ, при этомъ мы здѣсь будемъ имѣть дѣло съ такимъ же точно случаемъ, какъ описанный выше опытъ съ тремя растворами, отдѣленными другъ отъ друга пористыми перегородками, причемъ роль средняго, концентрированнаго раствора играетъ протоплазма клѣтки A, а роль боковыхъ, менѣе концентрированныхъ, протоплазма клѣтки B и физіологическій растворъ электрода m; въ томъ и другомъ случаѣ тока не будетъ, такъ какъ паденія потенціаловъ на обѣихъ сторонахъ, гдѣ происходитъ диффузія, будучи направлены въ противоположныя стороны и равны по величинѣ, взаимно уничтожатъ другъ друга.

Если бы процессъ отмиранія продолжалъ распространяться дальше на клѣтку B, но захватилъ не всю ее, а только часть, то токъ возобновился бы съ прежней силой, какъ только демаркаціонная плоскость перешла бы черезъ перегородку *ab*, потому что при этомъ условія для движенія іоновъ въ прежнемъ направленіи (изъ отмирающей въ живую половину клѣтки B) сдѣлались бы опять гораздо благопріятнѣе въ сравненіи съ условіями перехода ихъ въ противоположную сторону. Благодаря этому обстоятельству, при отведеніи отъ обыкновеннаго препарата поперечнополосатой мышцы, при подобныхъ условіяхъ не наблюдается полнаго прекращенія тока,

такъ какъ хотя поперечныя перегородки мышечныхъ волоконъ и аналогичны въ нѣкоторомъ отношеніи поперечнымъ спайкамъ, отдѣляющимъ клѣтки на только что разобранной схемѣ, но по мѣрѣ того, какъ процессъ отмиранія на поперечнополосатомъ волокнѣ подвигается все дальше и дальше, демаркаціонная линія переходитъ тоже за эти перегородки. Однако, и на такихъ мышцахъ замѣчается ослабленіе тока спустя нѣкоторое время послѣ нанесенія поперечнаго разрѣза, такъ что для его усиленія необходимо наложить свѣжій поперечный разрѣзъ.

Такимъ образомъ значеніе демаркаціонной плоскости Германа весьма просто объясняется съ точки зрѣнія концентраціонной теоріи, между тѣмъ какъ до сихъ поръ это явленіе было установлено только чисто эмпирически, и даже самъ Германъ не даетъ ему никакого раціональнаго объясненія.

Не менѣе понятнымъ становится и другой фактъ подобнаго же рода,—отсутствіе отрицательности при раздраженіи мышцы in toto по отношенію къ соприкасающимся съ ней другимъ цѣлымъ же, но не раздражаемымъ мышцамъ. Если, напримѣръ, снявши съ лягушки кожу, приложить электроды къ двумъ различнымъ мышцамъ, и затѣмъ привесть одну изъ нихъ въ тетаническое сокращеніе, причемъ другая остается въ совершенномъ покоѣ, то тока все-таки не получится. То же самое наблюдается на вырѣзанныхъ цѣликомъ и находящихся въ соприкосновеніи мускулахъ. Объясняется это явленіе точно такъ же тѣмъ, что раздражаемая in toto мышца, хотя и представляетъ, такъ сказать, резервуаръ концентрированныхъ іоновъ, но условія для диффузіи ихъ черезъ соединительнотканыя образованія и апоневрозъ, покрывающіе мускулъ, по всѣмъ направленіямъ одинаково затруднительны, вслѣдствіе чего могущія образоваться паденія потенціала взаимно нейтрализуютъ другъ друга (Германъ объясняетъ это явленіе отсутствіемъ въ данномъ случаѣ демаркаціонной плоскости отмиранія).

Все изложенное въ этой главѣ имѣетъ для насъ первостепенную важность, такъ какъ, съ одной стороны, почти всѣ случаи возникновенія электрическихъ токовъ въ живыхъ тканяхъ относятся къ случаямъ

появленія разности потенціала внутри проводниковъ, содержащихъ только влажныя части, а съ другой,—не принимая въ разсчетъ вышеприведенныхъ данныхъ, мы лишаемся возможности доказать правильность всѣхъ нашихъ измѣреній электродвигательной силы мышечныхъ токовъ, такъ какъ всегда можетъ появиться подозрѣніе, что вслѣдствіе диффузіи части іоновъ въ глину электродовъ или вообще въ индифферентно-проводящія влажныя части, соприкасающіяся съ дѣятельнымъ мышечнымъ веществомъ, часть электровозбудительной силы тока должна теряться.

Къ сожалѣнію, однако, я нигдѣ не могъ найти въ литературѣ по электрохиміи и физикѣ вполнѣ обстоятельнаго разбора вліяній, какія должна оказывать на величину паденія потенціала на границѣ двухъ неодинаково концентрированныхъ растворовъ большая или меньшая легкость перехода іоновъ изъ одного раствора въ другой, въ зависимости отъ существующаго въ этомъ мѣстѣ внѣшняго препятствія, вродѣ перегородки изъ пористой глины, бумаги и т. п.

Нѣкоторыя, хотя тоже скудныя, данныя имѣются по вопросу о вліяніи характера и свойствъ перепонокъ на диффузію, происходящую совсѣмъ безъ участія электрическаго тока, и отчасти на диффузію электролитовъ подъ вліяніемъ введенной извнѣ электромоторной силы.

Первый, кто подвергъ различныя перепонки изслѣдованію въ отношеніи ихъ диффузіонныхъ способностей, былъ Траубе [1]), который пришелъ къ заключенію, что процессъ проникновенія частицъ растворенаго вещества черезъ перепонку состоитъ въ прохожденіи ихъ черезъ существующія въ перепонкѣ поры, подобно проникновенію частицъ просѣваемаго вещества черезъ сито, почему онъ и называлъ перепонки ситомъ или атомонъ (Atomsiebe). Согласно этой теоріи, сѣдобательно, способность даннаго вещества диффундировать черезъ какую-нибудь перепонку должна зависѣть, съ одной стороны, отъ величины молекулъ диффундирующаго вещества, а съ другой—отъ величины поръ самой перепонки. Взглядъ Траубе подвергся видоизмѣненію со стороны Оствальда [2]), причемъ послѣдній предполагалъ, что при диффузіи черезъ перепонку проходятъ не цѣлыя молекулы, а іоны, на которыя онѣ диссоціируютъ, т. е. что перепонка является ситомъ для іоновъ (Ionensiebe). Изъ этой теоріи вытекаетъ, такимъ образомъ, что необходимымъ условіемъ для диффузіи вещества черезъ перепонку является проницаемость ея для всѣхъ іоновъ, на которые распадается его молекула, и что въ случаѣ неодинаковой проницаемости перепонки для положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ — одно это обстоятельство само по себѣ, помимо разности ихъ скоростяхъ, способно обусловить развитіе электромоторной силы на границѣ растворовъ, которые она отдѣляетъ.

Эти воззрѣнія были подвергнуты систематической экспериментальной провѣркѣ Таммановъ [3]), который, изучая скорость диффузіи нѣкаго рода веществъ при различныхъ условіяхъ черезъ различныя перепонки (такъ назыв. Niederschlagsmembranen, т. е. перепонки, самопроизвольно образующіяся на границѣ двухъ испытуемыхъ растворовъ, благодаря примѣ-

[1]) Arch. f. Anat. und Physiol. 1867.

[2]) Zeitschr. physik. Chemie. Bd. 6. S. 71 (1890).

[3]) Zeitschr. physik. Chemie. Bd. 10. SS. 255—264 (1892).

самъ, которыя дѣлаются съ этою цѣлью въ томъ и другомъ растворѣ, напр., клей—съ одной стороны, и таннинъ—съ другой и проч.),—пришелъ къ заключенію, что способность диффузіи не находится въ прямыхъ отношеніяхъ ни съ размѣромъ молекулъ, ни съ входящими въ составъ ихъ іонами, ни, равнымъ образомъ, съ размѣрами предполагаемыхъ въ перепонкахъ поръ, ибо оказалось, что нѣкоторыя перепонки, черезъ которыя диффузія большинства веществъ совершается весьма быстро,—откуда слѣдовало бы заключить, что онѣ отличаются значительной поризностью,—совсѣмъ непроходимы для нѣкоторыхъ веществъ, которыя легко проходятъ черезъ другія, вообще малопроницаемыя перепонки; нѣкоторые іоны одинъ разъ проходятъ легко, а другой разъ совсѣмъ не проходятъ, несмотря на то, что другіе, соединенные съ ними іоны проникаютъ черезъ перепонку и т. д. На основаніи этихъ результатовъ, которые подтверждаются также изслѣдованіями Вальдена [1]), Таммановъ, не соглашаясь ни съ Траубе, ни съ Оствальдомъ, построилъ совершенно новую теорію, согласно которой при диффузіи растворенныхъ веществъ черезъ перепонки, послѣднія не пассивно пропускаютъ черезъ себя частицы диффундирующихъ веществъ, а сами принимаютъ активное участіе въ процессѣ, причемъ диффундирующее вещество вступаетъ въ сложное физико-химическое отношеніе съ веществомъ перепонки, растворяясь въ послѣднемъ. Такимъ образомъ, съ этой точки зрѣнія сущность процесса диффузіи сѣдуетъ представлять себѣ, какъ «раствореніе» двухъ диффундирующихъ жидкостей въ третьей «жидкости»—перепонкѣ, ихъ раздѣляющей.

Все вышеизложенное относилось только до обыкновенной, неэлектролитической диффузіи. Что касается до послѣдней, то вопросъ о вліяніи на нее перепонокъ изучался до сихъ поръ только съ одной стороны, именно—со стороны измѣненія такъ называемыхъ Гиттерфорвыхъ чиселъ переноса іоновъ, по которымъ опредѣляется относительная скорость движенія положительнаго и отрицательнаго іоновъ подъ вліяніемъ пропускаемаго черезъ растворъ постояннаго тока.

Уже самъ Гиттерфъ могъ замѣтить, что присутствіе перепонокъ на пути проходящаго черезъ растворъ электрическаго тока не остается безъ вліянія на скорость переноса іоновъ. Въ послѣднее время этотъ вопросъ изслѣдовалъ Байнъ [2]) (Willy Bein), который нашелъ, что вліяніе находящихся на пути тока перегородокъ изъ обожженной глины, рыбьяго пузыря и др. способствуетъ измѣненію чиселъ переноса всегда въ томъ смыслѣ, что относительная скорость катіона (напр. $\frac{H}{2}$ при HCl и $\frac{Na}{2}$ при NaCl) уменьшается; меньше всего при этомъ дѣйствуетъ обожженная глина (почти не дѣйствуетъ). Для объясненія этого явленія онъ допускаетъ, что указанное свойство перепонокъ зависитъ отъ неодинаковой

[1]) Zeitschr. physik. Chemie. Bd. 10. SS. 699—732.

[2]) Zeitschr. physik. Chemie. Bd. 28. SS. 439—452 (1899). Въ этой статьѣ содержится также довольно обширный перечень литературы предмета, между прочимъ, и о неэлектролитической диффузіи черезъ животныя перепонки. О послѣдней см. также S. G. Hedin. Ueber den Einfluss einer thierischer Membran auf die Diffusion verschiedener Körper. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 78 (1899).

способности ихъ пропускать различные іоны, причемъ сами перепонки относятся какъ вещества, имѣющія свойства кислотъ, а потому задерживаютъ больше катіоны, или что перепонка поляризуется и задерживаетъ на себѣ, хотя и на короткое время, часть катіоновъ, какъ на электродѣ.

Что касается перваго предположенія, то оно всецѣло примыкаетъ къ взгляду Таммана, согласно которому перепонка въ данномъ случаѣ является «жидкостью», въ которой происходитъ раствореніе іоновъ—на одной сторонѣ, съ послѣдующимъ затѣмъ выдѣленіемъ ихъ на другой сторонѣ перепонки, второе же предложеніе само по себѣ довольно сомнительно, такъ какъ, если не допускать химическаго взаимодѣйствія между веществомъ перепонки и проходящими черезъ нее іонами, то очень трудно понять, почему именно перепонка вліяетъ задерживающимъ образомъ только на катіоны.

Байнъ ограничивается въ своей работѣ изученіемъ вліянія перепонокъ исключительно только на процессъ электролиза, происходящій въ растворѣ подъ вліяніемъ внѣшней электромоторной силы, и не касается той роли, какую онѣ могутъ играть при возникновеніи концентраціоннаго тока на границѣ растворовъ, которые отдѣляются посредствомъ ихъ, и только-между прочимъ и вскользь онъ упоминаетъ объ одномъ, уже старомъ опытѣ Вормъ-Мюллера [1]), который, соединяя два крѣпкіе раствора сѣрно-кислаго цинка посредствомъ сифона, наполненнаго $^2/_3{}^0/_0$ растворомъ поваренной соли, наблюдалъ, при отведеніи отъ обоихъ растворовъ, разность потенціала въ 0,01 D, если одинъ конецъ сифона закрывался пумыремъ.

Вопросомъ о томъ, какое вліяніе могутъ оказывать на электромоторную силу неодинаковыя условія для диффузіи іоновъ въ разныя стороны, занимался, между прочимъ, въ послѣднее время Оккрбломъ въ приводимой ниже (гл. VIII) своей работѣ о мышечныхъ токахъ (Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 84). Производилъ онъ свои опыты такимъ образомъ, что получалъ разность потенціаловъ при комбинаціи, напримѣръ, слѣдующаго ряда соприкасающихся между собою растворовъ:

1,0 норм. KCl—0,1 норм. KCl—1,0 норм. HCl—1,0 норм. KCl.

При отведеніи отъ крайнихъ растворовъ этого ряда получается токъ, по направленію, въ данномъ случаѣ, справа налѣво, т. е. отъ 1,0 n. HCl къ 0,1 n KCl и т. д. Такъ какъ іоны K и Cl обладаютъ одинаковой скоростью, то электродвигательная сила не могла возникнуть на границѣ 1,0 n. и 0,1 n. растворовъ KCl, —слѣдовательно, она возникаетъ на границахъ соляной кислоты съ 1,0 n. и 0,1 n. хлористымъ каліемъ, и зависитъ, по Оккрблому, отъ того обстоятельства, что іоны HCl съ большей легкостью диффундируютъ въ болѣе слабый 0,1 n. растворъ KCl, чѣмъ болѣе въ концентрированный 1,0 n. растворъ его, гдѣ имъ приходится преодолѣвать болѣе сильное треніе. Если 0,1 n. растворъ KCl замѣнить болѣе слабымъ, или чистой водой, то электродвигательная сила тока дѣлается сильнѣе, достигая въ послѣднемъ случаѣ 0,1 Volt. Напротивъ, если увеличивать концентрацію 0,1—нормальнаго раствора, то сила падаетъ, и когда концентрація его сдѣлается нормальной (т. е. растворъ HCl будетъ находится между двумя нормальными растворами KCl), то паденіе потенціала дѣлается равнымъ нулю; равнымъ образомъ разность потенціала уменьшается съ уменьшеніемъ концентраціи крайнихъ, нормальныхъ растворовъ. Если вмѣсто соляной кислоты брать растворъ хлористаго натрія или щелочи, то направленіе тока получается обратное (болѣе быстро двигающійся отрицательный іонъ) [2]).

Однако, эти явленія сдва-ли относятся къ категоріи, описанныхъ выше явленій, наблюдаемыхъ при диффузіи растворовъ, отдѣленныхъ перепонками, и для ихъ объясненія совсѣмъ нѣтъ надобности прибѣгать къ гипотезѣ объ усиленномъ треніи, встрѣчаемомъ іонами HCl при переходѣ въ концентрированный растворъ хлористаго калія. Дѣло въ томъ, что хотя при диффузіи растворовъ хлористаго калія и не возникаетъ разности потенціала на ихъ границѣ, но это происходитъ въ силу одинаковой быстроты, съ которой движутся оба іоны KCl, а не въ силу неспособности его принимать участіе въ электрическомъ токѣ. Поэтому въ тѣхъ случаяхъ, когда растворъ хлористаго калія находится въ комбинаціи съ растворами другихъ электролитовъ, онъ можетъ оказывать весьма существенное вліяніе на потенціалъ системы; такъ, напр., если привесть въ соприкосновеніе 1,0 n. растворъ соляной кислоты съ водой, то на границѣ ихъ возникаетъ разность потенціала около 0,15 вольтъ, но при соприкосновеніи нормальнаго раствора HCl съ такимъ же растворомъ хлористаго калія эта разность будетъ только 0,028 вольта [2]). Если бы произвесть вычисленіе отдѣльныхъ паденій потенціала на границахъ всѣхъ растворовъ при опытахъ Оккрблома, то алгебраическая сумма ихъ и должна была бы обнаружиться въ видѣ результирующаго тока. Такимъ образомъ, опыты Оккрблома скорѣе слѣдуетъ отнесть къ категоріи случаевъ возникновенія тока въ особыми образомъ скомбинированной цѣпи изъ нѣсколькихъ растворовъ, о которыхъ говорилось выше.

Изъ всего вышеизложеннаго нельзя, такимъ образомъ, составить ясное представленіе о томъ, какими особенностями отличается электрическая диффузія черезъ перепонки, благодаря которымъ перепонка можетъ оказывать вліяніе на разность потенціала между двумя растворами, которые она отдѣляетъ. Принимать это явленіе неодинаковой проницаемости перепонки для различныхъ іоновъ нельзя, ибо въ посѣдненъ случаѣ различныя перепонки должны были бы оказывать различное вліяніе не только въ количественномъ, но и въ качественномъ отношеніи, причемъ, согласно Байну, онѣ должны были бы всегда оказывать большее задерживающее вліяніе на катіонъ, такъ что при диффузіи, напр., хлористаго натрія, присутствіе перепонки на границѣ диффундирующихъ растворовъ должно было бы усилить токъ (такъ какъ скорость натрія, которая меньше скорости хлора, еще болѣе уменьшилась бы), а между тѣмъ въ данномъ случаѣ дѣйствіе перепонки оказывается такое же, какъ и при всякомъ другомъ электролитѣ,—разность потенціаловъ уменьшается. Я не могу здѣсь входить въ сколько-нибудь подробное

[1]) Poggend. Ann. Bd. 140, S. 115 (1870).

[1]) Подобные опыты производились раньше Вормъ-Мюллеромъ, Дю-Буа Реймономъ и др. (см. G. Wiedemann. Die Lehre v. d. Elektricität, Bd. I).

[2]) Cp. M. Planck. Ueber die Potentialdifferenz zwischen zwei verdünnten Lösungen binärer Electrolyte. Wied. Ann. Bd. 40, S. 576.

теоретическое разсмотрѣніе этого вопроса, какъ по недостатку фактическаго матеріала, такъ и потому, что онъ касается совсѣмъ другой области. Однако я думаю, что съ нашей стороны было бы послѣдовательнѣе всего объяснить ослабляющее дѣйствіе перепонокъ на электродвигательную силу или тѣмъ обстоятельствомъ, что при этомъ болѣе или менѣе значительная часть освобождаемой при переходѣ іоновъ энергіи тратится на преодолѣніе встрѣчаемаго ими трепія, или, опираясь на теорію Таммана, касающуюся диффузіи неэлектролитической, предположить, что и въ тѣхъ случаяхъ, когда диффузія совершается подъ вліяніемъ электрическаго тока, или сама вызываетъ электрическій токъ,— іоны не просто переходятъ изъ одного раствора въ другой, а предварительно вступаютъ въ нѣкоторое химическое соединеніе съ веществомъ самой перепонки, растворяясь въ ней; при этомъ перепонка, пропитавшись іонами со стороны одного раствора, будетъ отдавать ихъ другому, причемъ будетъ происходить разложеніе образовавшагося химическаго соединенія вещества перепонки съ іонами, безъ замѣтнаго однако различія въ отношеніи перепонки къ положительнымъ и отрицательнымъ іонамъ, которое наблюдалъ Байнъ при пропусканіи тока отъ внѣшняго электродвигательнаго источника.

Можно думать при этомъ, что такимъ образомъ проходятъ не всѣ іоны, а только большая или меньшая часть ихъ, въ зависимости отъ размѣра поръ и другихъ свойствъ перепонки, другая же часть проталкивается сквозь пары обыкновеннымъ образомъ, т. е. механически, и обусловитъ, въ зависимости отъ своего количества, большее или меньшее паденіе потенціала въ прежнемъ направленіи. Если при этомъ порозность перепонки минимальна, напр., въ случаѣ вязкой глины, или при животныхъ перепонкахъ, то всѣ іоны будутъ переходить исключительно только «химическимъ» путемъ, и паденіе потенціала при этомъ будетъ равно нулю [1]). Такъ какъ при этомъ послѣднемъ процессѣ перепонка не теряетъ, однако, способности проводить электрическій токъ, то мы должны придти къ заключенію, что въ этомъ случаѣ проведеніе тока совершается какимъ-то особымъ путемъ, отличнымъ отъ простого электролиза въ растворѣ, и здѣсь, быть можетъ, умѣстнѣе всего было бы причислить къ проводникамъ третьяго класса, о которыхъ училъ Вольта, и къ которымъ онъ относилъ полужидкія вещества, и между прочимъ также ткани животныхъ, которыя должны проводить токъ отлично отъ металловъ (проводники перваго класса) и жидкостей (проводники второго класса).

Какъ бы то ни было, чтобы устранить окончательно возможность сомнѣнія въ правильности цифръ, получаемыхъ при измѣреніи электромоторной силы токовъ посредствомъ глиняныхъ электродовъ, я производилъ посредствомъ этихъ электродовъ рядъ измѣреній электромоторной силы концентраціонныхъ токовъ, получаемыхъ при соприкосновеніи двухъ не-

[1]) Быть можетъ, и при этомъ процессѣ возможно въ нѣкоторыхъ случаяхъ возникновеніе большой или меньшей электромоторной силы, но это уже не будетъ концентраціонный токъ, а явленіе другого порядка, подобно, напр., паденію потенціала при растереніи цинка въ кислотѣ и т. д.

одинаково концентрированныхъ растворовъ различныхъ электролитовъ, для которыхъ въ то же время величина этой силы вычислялась теоретическимъ путемъ. Измѣреніе производилось такимъ образомъ, что испытуемые растворы наливались въ два отдѣльные сосуда, которые затѣмъ соединялись посредствомъ изогнутой стеклянной трубки-сифона, наполненной однимъ изъ растворовъ или просто водой; послѣ этого отводился токъ посредствомъ неполяризующихся электродовъ, соприкасавшихся съ поверхностью того и другого раствора.

Въ приводимой таблицѣ сопоставлены результаты этихъ измѣреній, изъ которыхъ видно, что совпаденіе между дѣйствительно находимыми и вычисленными величинами въ предѣлахъ концентрацій выше 0,01% почти полное, и только для очень разведенныхъ растворовъ начинаются отклоненія, которыя объясняются разными побочными причинами, главнымъ образомъ недостаточной чистотой воды и сосудовъ, которыхъ совершенно невозможно было избѣжать, работая въ такой неподходящей обстановкѣ, какую я могъ имѣть для этого въ физіологической лабораторіи.

Болѣе значительныя колебанія замѣчаются только при дѣйствіи калія; это объясняется способностью его поглощать значительныя количества углекислоты изъ воздуха, причемъ дѣйствіе кали обращается въ углекислый калій, отрицательный іонъ котораго обладаетъ гораздо болѣе медленнымъ движеніемъ, чѣмъ гидроксилъ. Благодаря этому обстоятельству, во время самаго производства вышеописанныхъ опытовъ съ измѣреніемъ электромоторной силы концентраціонныхъ токовъ КОН замѣчаются постоянныя колебанія ея, чего никогда не бываетъ при другихъ электролитахъ, солахъ и кислотахъ, гдѣ разность потенціала держится на одной высотѣ цѣлыми часами.

Всѣ измѣренія относятся къ обыкновенной комнатной температурѣ 18°C. Разность потенціала выражена въ вольтахъ.

Концентрація отводимыхъ растворовъ.	HCl		NaCl		KOH	
	вычислено:	найдено:	вычислено:	найдено:	вычислено:	найдено:
1,0 —— 0,1 норм.	0,035	0,032	0,011	0,010	0,024	0,028
1,0 —— 0,01 „	0,069	0,064	0,021	0,020	0,047	0,055
1,0 —— 0,001 „	0,103	0,102	0,031	0,026	0,070	0,080
1,0 —— 0,0001 „	0,135	0,150	0,040	0,030	—	—
0,1 —— 0,01 „	0,037	0,034	0,011	0,010	0,026	0,028
0,1 —— 0,001 „	0,073	0,072	0,022	0,019	—	—
0,1 —— 0,0001 „	0,108	0,120	—	—	—	—
0,01 —— 0,001 „	0,037	0,035	—	—	—	—
0,01 —— 0,0001 „	0,075	0,090	—	—	—	—
0,001 —— 0,0001 „	0,038	0,060	—	—	—	—

Глава VIII.

Опыты на моделяхъ.

Послѣ изложенныхъ въ предыдущихъ главахъ теоретическихъ разсужденій по вопросу о причинахъ развитія мышечнаго тока при тѣхъ или иныхъ условіяхъ и о распредѣленіи электрическаго потенціала на поверхности различныхъ мышцъ, было бы, конечно, въ высшей степени интересно постараться провѣрить правильность выведенныхъ заключеній еще на надлежащимъ образомъ устроенныхъ моделяхъ, подобно тому, какъ это удалось Дю-Буа Реймону на моделяхъ мышцъ, составленныхъ изъ мѣдно-цинковыхъ паръ, замѣнявшихъ его электродвигательныя периполярныя и диполярныя молекулы.

Что касается до возможности устроить модель, которая совмѣщала бы въ себѣ условія, при которыхъ возникаетъ обыкновенный демаркаціонный токъ между раздражаемымъ и покойнымъ мышечнымъ веществомъ (искусственный поперечный разрѣзъ и продольная поверхность правильно построенной мышцы), то тутъ едва-ли можетъ быть какое-либо затрудненіе. Мы разсматривали демаркаціонный токъ, какъ простой концентраціонный жидкостный токъ (Flüssigkeitsstrom), происходящій отъ неодинаковой концентраціи угольной кислоты въ раздраженномъ и покойномъ мѣстѣ. Воспроизвесть такой токъ не представляется, конечно, никакихъ затрудненій, и, какъ было уже упомянуто во второй главѣ, мы можемъ съ точностью до тысячныхъ долей вольта напередъ вычислить его электродвигательную силу и по произволу мѣнять ее, измѣняя концентрацію взятыхъ растворовъ. Кромѣ способа полученія подобныхъ токовъ при помощи сосуда раздѣленнаго пористой перегородкой на двѣ половины, въ которыя

наливаются испытуемые растворы, можно выполнить подобный опытъ съ достаточной для насъ наглядностью и при помощи болѣе простыхъ средствъ. Такъ, напримѣръ, если взять обыкновенный сосудъ для элемента Даніеля, въ пористый цилиндръ налить слабый растворъ какой-нибудь кислоты, а въ банку обыкновенной воды, или наоборотъ, то при отведеніи тока при помощи глиняныхъ неполяризующихся электродовъ отъ поверхностей налитыхъ жидкостей сосудъ, содержащій кислоту, оказывается отрицательнымъ по отношенію къ другому [1]). Можно также налить эти же растворы въ два отдѣленія ящичка отъ обыкновенной электрической машинки Шпаммера, и затѣмъ соединить оба отдѣленія мостикомъ изъ куска намоченной въ водѣ фильтровальной бумаги; или взять просто полоску фильтровальной бумаги или ваты, намоченныхъ въ водѣ или въ физіологическомъ растворѣ, затѣмъ одинъ конецъ погрузить на минуту въ кислоту и отвесть токъ отъ этого мѣста и другого конца,—въ обоихъ этихъ случаяхъ, смоченное кислотой мѣсто оказывается отрицательнымъ по отношенію къ другому. Наконецъ, тоже самое можно воспроизвести и на настоящей мышцѣ или нервѣ, которые умерли или убиты погруженіемъ въ кипящую воду, а потому уже не обнаруживаютъ тока: стоитъ только смочить одинъ конецъ такой мышцы или нерва въ слабой кислотѣ, чтобы токъ получился, причемъ смоченное мѣсто оказывается отрицательнымъ по отношенію къ остальнымъ.

Сюда же относятся и замѣченныя Бидерманомъ измѣненія электромоторной силы мышечнаго тока при смачиваніи различными растворами, причемъ онъ нашелъ, что «уже спустя короткое время послѣ погруженія одного конца не имѣющей тока портняжной мышцы въ водную вытяжку мышечнаго вещества (отличающуюся большимъ процентнымъ содержаніемъ калійныхъ солей) или въ слабые растворы различныхъ калійныхъ солей,—смоченный участокъ дѣлается сильно отрицательнымъ по отношенію

[1]) Необходимо, чтобы сосуды были абсолютно чисты. Если на стѣнкахъ пористаго цилиндра находятся остатки бывшихъ тутъ раньше сѣрнокислой мѣди, хлористаго натрія и т. п., то это можетъ совершенно извратить токъ.

ко всякому другому пункту мышцы» [1]). Послѣ смыванія водой или физіологическимъ растворомъ эти калійные токи (Kaliströme) пропадаютъ совершенно. Обратно относятся участки, смоченные хлористымъ натріемъ. Все это станетъ понятно, если принять во вниманіе относительную скорость движенія положительнаго и отрицательнаго іоновъ въ томъ и другомъ случаѣ: калійныя соли, обладающія болѣе быстро двигающимся положительнымъ іономъ, должны вызвать электрическій токъ въ направленіи диффузіи, тогда какъ при хлористомъ натрѣ получится обратное [2]).

Недавно подобные же опыты производилъ Макдональдъ [3]), который нашелъ, что если электромоторная сила демаркаціоннаго тока нерва ослабѣла, то ее можно усилить даже выше первоначальной величины погруженіемъ въ обыкновенную воду или очень слабые растворы NaCl (менѣе 0,6%). Объяснить это явленіе съ нашей точки зрѣнія можно такимъ образомъ, что при погруженіи въ воду начинается диффузія солей черезъ поперечный разрѣзъ по направленію *изъ* нерва, а такъ какъ главная составная часть растворенныхъ въ плазмѣ солей составляютъ натронныя, то очевидно, что движеніе ихъ по направленію *изъ* поперечнаго разрѣза должно сопровождаться входящимъ токомъ. Справедливость этого подтверждается тѣмъ, что, какъ нашелъ тотъ же Макдональдъ, погруженіе въ растворы хлористаго натрія, концентрація которыхъ превышаетъ 0,9% (т. е. нормальную концентрацію солей въ плазмѣ), сопровождается не усиленіемъ, а ослабленіемъ тока. Даже вынутый изъ трупа и совершенно лишенный тока нервъ обнаруживаетъ токъ, и притомъ довольно значительной силы послѣ 5-ти-минутнаго погруженія въ воду. Скрученный изъ нитокъ шнурокъ, напитанный равномѣрно солевымъ растворомъ или колодезной водой, лишенъ токовъ, но каждый участокъ его, смоченный каплей другой концентраціи, обнаруживаетъ сейчасъ же токъ. Получающаяся при этихъ опытахъ разность потенціала измѣняется въ логариѳмическомъ отношеніи къ концентраціямъ взятыхъ растворовъ, что прямо слѣдуетъ изъ формулы для вычисленія электромоторной силы концентраціонныхъ токовъ. На основаніи этихъ опытовъ Макдональдъ тоже приходитъ къ заключенію, что демаркаціонный токъ есть токъ концентраціонный.

Недавно весьма обстоятельную работу посвятилъ этому вопросу Окербломъ [1]).

Онъ производилъ испытанія электродвигательной силы мышечныхъ тоновъ, включая мышцу въ сложную гальваническую цѣпь, составленную изъ нѣсколькихъ соприкасающихся растворомъ различныхъ электролитовъ, главнымъ образомъ хлористаго калія, о которой говорилось уже въ предыдущей главѣ (стр. 210). Результаты, полученные имъ, сводятся къ слѣдующему.

Если осторожно вырѣзанную портняжную мышцу лягушки включить въ гальваническую цѣпь, составленную такимъ образомъ: $^1/_{10}$ нор. KCl—вода—m. sartorius—KCl $^1/_{10}$ нор., то при отведеніи въ гальванометрѣ крайнихъ растворовъ KCl наблюдается слѣдующая смѣна явленій. Сначала получается слабый токъ въ направленіи слѣва направо, т. е. входящій по отношенію къ намоченному въ водѣ концу мышцы. Эта фаза вскорѣ смѣняется другой—противоположной, которая въ свою очередь уступаетъ мѣсто третьей и послѣдней фазѣ, при которой намоченный въ водѣ конецъ опять дѣлается отрицательнымъ (входящій токъ). Эта фаза отличается отъ двухъ первыхъ, кромѣ величины электродвижущей силы, которая,

[1]) Bied. Elektrophysiol. I, S. 302.

[2]) Слѣдуетъ имѣть въ виду, что въ данномъ случаѣ отношенія представляются, повидимому, нѣсколько сложнѣе. Дѣло въ токѣ, что такія калійныя соли какъ KCl, K NO$_3$ не должны бы совсѣмъ производить тока, такъ какъ оба іона ихъ движутся почти съ одинаковой скоростью, съ другой стороны Энгельманъ нашелъ, что смачиваніе SO$_4$Na$_2$ и NO$_3$Na даже въ крѣпкихъ растворахъ (4—12%) почти не вызываетъ тока (Bied., l. c., S. 304). Это можно объяснить такимъ образомъ, что здѣсь къ чисто физическому процессу диффузіи присоединяется физіологическое раздраженіе протоплазмы этими солями, благодаря чему въ первомъ случаѣ (K Cl и K NO$_3$) получается болѣе сильный входящій токъ, а во второмъ (SO$_4$Na$_2$, NO$_3$Na) — ослабляется долженствующій появиться выходящій токъ.

[3]) Macdonald, J. S. The demarcation current of mammalian nerve. Proceed. Roy. Soc. 1900. LXVII. pp. 310—328.

[1]) Arch. f. d ges. Physiol. Bd. 84, SS. 191—259 (1901).

какъ при токѣ демаркаціонномъ, составляетъ около 0,04 вольта, также и продолжительностью, исчезая только со смертью мускула. Если вмѣсто воды въ цѣпь вводится насыщенный растворъ KCl, то первыя двѣ фазы выпадаютъ, и прямо получается третья—входящій токъ, электромоторная сила котораго, постепенно увеличиваясь, достигаетъ обычной для демаркаціоннаго тока величины.

Съ нашей точки зрѣнія весь этотъ рядъ явленій объясняется очень просто. Въ первой стадіи, когда только что вырѣзанная мышца вводится въ гальваническую цѣпь, въ ней не успѣли еще совсѣмъ развиться кислотные продукты регрессивнаго метаморфоза, и потому разность потенціаловъ можетъ получиться только на счетъ диффузіи покрывающаго мускулъ мышечнаго сока; такъ какъ въ составѣ послѣдняго входятъ главнымъ образомъ хлористый натрій, то при диффузіи его изъ конца мышцы въ воду должно получиться паденіе потенціала въ противоположномъ направленіи, т. е. входящій токъ (на противоположномъ концѣ мышцы, который находится въ соприкосновеніи съ децинормальнымъ растворомъ хлористаго калія, тоже должна происходить диффузія мышечнаго сока въ растворъ, но такъ какъ скачекъ потенціала при диффузіи въ чистую воду гораздо больше — ср. стр. 210 — то происходящую при этомъ электромоторную силу можно совсѣмъ игнорировать).

Когда, вслѣдствіе болѣе продолжительнаго воздѣйствія воды на конецъ мускула, послѣдній начинаетъ умирать (водное окоченѣніе), появляющіеся въ самыхъ поверхностныхъ слояхъ его продукты кислотнаго метаморфоза, переходя въ воду, вызовутъ электродвижущую силу въ томъ же направленіи, т. е. выходящій токъ.

Наконецъ, когда процессъ умиранія на соприкасающейся съ водой поверхности мышцы подвинулся настолько, что между водой и еще живымъ, но находящимся въ раздраженіи слоемъ мышечнаго вещества образовалась болѣе или менѣе толстая перегородка изъ совершенно отмершаго вещества,—внутри мускула появляется настоящая демаркаціонная плоскость, продукты метаморфоза которой, диффундируя вглубь

мышцы, обусловятъ появленіе настоящаго демаркаціоннаго — входящаго тока.

При замѣнѣ воды концентрированнымъ растворомъ хлористаго калія первыя двѣ фазы совсѣмъ не развиваются, во-первыхъ—потому, что подъ вліяніемъ раздражающаго дѣйствія концентрированнаго раствора KCl демаркаціонная плоскость на концѣ мускула должна образоваться очень быстро, а во-вторыхъ—паденіе потенціала вслѣдствіе диффузіи мышечнаго сока и кислотныхъ продуктовъ, появляющихся при отмираніи самыхъ поверхностныхъ слоевъ мышечнаго вещества, въ воду, которому обязаны своимъ происхожденіемъ двѣ первоначальныя фазы, наблюдаемыя въ первомъ случаѣ,—въ данномъ случаѣ, т. е. при диффузіи въ концентрированный растворъ KCl, могло бы быть самое незначительное (стр. 211) [1])

Во всякомъ случаѣ, изъ всего сказаннаго очевидно, что воспроизвести на модели основное явленіе всего ученія о животномъ электричествѣ—демаркаціонный токъ, получающійся, согласно нашему мнѣнію, вслѣдствіе неодинаковой концентра-

[1]) Самъ Оккербломъ объясняетъ всѣ вышеописанныя явленія иначе. По его мнѣнію важнѣйшую роль въ явленіяхъ мышечнаго тона играютъ мышечныя оболочки, сарколемма и проч., проницаемость которыхъ для различныхъ іоновъ мѣняется при различныхъ условіяхъ. (Такой взглядъ на происхожденіе всѣхъ вообще животныхъ токовъ высказанъ впервые Оствальдомъ,—Zeitschr. phys. Chem. Bd. 6, S. 80). Въ нормальномъ состояніи онѣ почти совершенно непроницаемы для іоновъ, при малыхъ степеняхъ поврежденія онѣ легче пропускаютъ положительные іоны, но задерживаютъ отрицательные; наконецъ, при сильномъ поврежденіи онѣ становятся легко проницаемы какъ для положительныхъ, такъ и для отрицательныхъ іоновъ. Поэтому, первую фазу наблюдавшихся имъ токовъ Оккербломъ объясняетъ, какъ и я, диффундированіемъ мышечнаго сока въ воду; вторая же, по его мнѣнію, происходитъ отъ того, что поврежденныя отъ дѣйствія воды мышечныя оболочки начинаютъ пропускать въ воду положительные іоны возникающихъ при этомъ въ мышечномъ веществѣ продуктовъ распада; третью фазу онъ считаетъ, главнымъ образомъ, за результатъ вторичныхъ явленій, происходящихъ вслѣдствіе загрязненія воды. Наконецъ, входящій токъ, получающійся при замѣнѣ воды концентрированнымъ растворомъ хлористаго калія, онъ признаетъ за настоящій демаркаціонный, и объясняетъ его появленіе тѣмъ, что хотя подъ вліяніемъ крѣпкаго раствора KCl мышечныя оболочки очень быстро отмираютъ, и, слѣдовательно, становятся, по его теоріи, легко проницаемы какъ для положительныхъ, такъ и для отрицательныхъ іоновъ, но паденіе потенціала должно имѣть при этихъ условіяхъ направленіе внутрь мышцы на томъ основаніи, что переходъ іоновъ въ концентрированный растворъ совершается здѣсь съ большимъ трудомъ, благодаря значительному трепію (см. выше стр. 210).

ціи угольной кислоты въ томъ и другомъ изъ отводимыхъ въ гальванометръ мѣстъ,—не представляетъ затрудненій. Гораздо болѣе интересно для насъ было бы произвести подобные же опыты въ такихъ условіяхъ, которыя соотвѣтствовали бы условіямъ, имѣющимъ мѣсто на конусообразныхъ мышцахъ, или при косвенномъ положеніи поперечнаго разрѣза, т. е. когда токъ получался бы вслѣдствіе неодинаковаго распредѣленія въ окружающемъ влажномъ проводникѣ образующихся тѣмъ или другимъ путемъ іоновъ.

Когда я впервые попытался объяснить себѣ происхожденіе восходящаго тока икроножной мышцы лягушки неравномѣрнымъ распредѣленіемъ внутри мышечнаго конуса вырабатывающейся на его поверхности угольной кислоты, то, стараясь провѣрить этотъ выводъ на основаніи совпаденія теоретрически вычисленныхъ величинъ электромоторной силы съ дѣйствительно наблюдаемыми, я пытался также воспроизвесть явленіе подобнаго тока на соотвѣтственнымъ образомъ устроенныхъ моделяхъ. Для этого я поступалъ такимъ образомъ, что приготовляя различной величины конусы изъ свернутой фильтровальной бумаги, фланели и ваты, которые пропитывались водою или физіологическимъ растворомъ, и затѣмъ поверхность ихъ смачивалась различными, болѣе или менѣе концентрированными растворами сѣрной и уксусной кислоты, хлористаго натрія и др., причемъ это смачиваніе производилось или просто нанесеніемъ раствора кисточкой, или погруженіемъ приготовленнаго такимъ образомъ конуса на очень короткое время въ испытуемый растворъ, или, наконецъ, такимъ образомъ, что въ растворѣ намачивалась тряпочка, въ которую окутывался конусъ; кромѣ того, я поступалъ и такъ, что пропитанный водой конусъ прямо посыпалъ измельченнымъ порошкомъ испытуемой соли, уксусной кислоты и т. д.

Можно было предполагать, что при такихъ условіяхъ вещество, растворъ котораго смачиваетъ поверхность конуса, будетъ распредѣляться въ болѣе глубокихъ слояхъ такимъ же приблизительно образомъ, какъ распредѣляется внутри мышечнаго конуса образующаяся на его поверхности CO_3H_2, а потому можно было ожидать, что при отведеніи тока отъ двухъ точекъ поверхности, расположенныхъ на неодинаковыхъ разстояніяхъ отъ вершины конуса, мы должны будемъ получить въ гальванометрѣ токъ, направленіе и сила котораго будутъ измѣняться по тѣмъ же законамъ, какъ на поверхности конусообразной мышцы (т. е. онъ долженъ былъ бы быть восходящимъ при кислотѣ и, наоборотъ, нисходящимъ при хлористомъ натрѣ). Однако, всѣ мои старанія уловить сколько-нибудь закономѣрное измѣненіе потенціала вдоль поверхности такимъ образомъ приготовленныхъ моделей были совершенно напрасны, токъ, если и появляется, то направленіе и сила его бываютъ крайне измѣнчивы и зависятъ отъ разныхъ случайныхъ причинъ, какъ напр., неравномѣрнаго смачиванія растворомъ и т. п., если же опытъ производится съ надлежащими предосторожностями, то тока совсѣмъ не получается. Такой же отрицательный результатъ даетъ попытка получить токъ на модели, сдѣланной въ формѣ мышцы съ косвенно стоящей плоскостью поперечнаго разрѣза, поверхность котораго смачивается однимъ изъ вышеуказанныхъ растворовъ.

Неудачные результаты этихъ опытовъ поставили меня сначала въ большое недоумѣніе, такъ какъ здѣсь, повидимому, имѣются на лицо всѣ условія для такого же распредѣленія іоновъ внутри модели, изображающей конусовидную или косоперерѣзанную мышцу, какъ это мы предполагали при объясненіи дѣйствительно наблюдаемыхъ при подобныхъ условіяхъ мышечныхъ токовъ.

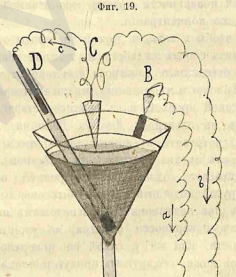
Однако, ближайшее разсмотрѣніе обстановки опыта въ томъ и другомъ случаяхъ убѣждаетъ, что на описанныхъ выше моделяхъ и не могло получиться никакого тока. Дѣло въ томъ, что, какъ уже было указано выше (гл. II, стр. 59), электродвигательная сила концентраціоннаго тока зависитъ исключительно отъ разницы концентрацій въ точкахъ нахожденія отводящихъ электродовъ, не завися совершенно отъ того, какъ измѣняется степень концентраціи на пространствѣ между обоими отводимыми мѣстами, т. е. идетъ ли измѣненіе ея постепенно или сразу, равномѣрно у того и другого электрода или же скачками и т. д. Поэтому, если въ ряду соприкасающихся растворовъ неодинаковой концентраціи, концентраціи край-

нихъ одинаковы, и отведеніе совершается отъ нихъ, то никакого тока при этомъ не получится каковы бы ни были концентраціи промежуточныхъ растворовъ, но если при такихъ условіяхъ одинъ электродъ передвинуть такъ, чтобы онъ пришелъ въ соприкосновеніе съ растворомъ, концентрація котораго уже слабѣе, то немедленно получается токъ, электродвигательная сила котораго зависитъ отъ разницы въ концентраціяхъ отводимыхъ растворовъ. Такое именно положеніе, очевидно, имѣется на лицо и при отведеніи тока отъ нашихъ моделей. Вся поверхность этой модели смочена растворомъ одной и той же концентраціи; поэтому, каково бы ни было распредѣленіе концентрацій въ глубокихъ частяхъ,—при отведеніи отъ двухъ точекъ поверхности тока получаться не должно. Для того, чтобы получить токъ отъ такой модели необходимо было бы производить отведеніе непосредственно отъ тѣхъ точекъ, лежащихъ въ глубинѣ модели, въ которыхъ мы предполагаемъ неодинаковую концентрацію.

Эти отношенія можно воспроизвесть наглядным образомъ на слѣдующемъ опытѣ. Беремъ стеклянную воронку, въ которую вставляемъ обыкновенный фильтръ изъ сѣрой фильтровальной бумаги, затѣмъ залѣпляемъ плотно нижнее отверстіе воронки кускомъ глины, употребляемой для электродовъ, укрѣпляемъ воронку на штативѣ (фиг. 19) и наполняемъ ее до верху $15^0/_0 - 20^0/_0$ растворомъ сѣрной кислоты. Послѣ того какъ фильтръ пропитается растворомъ кислоты, удаляемъ послѣднюю посредствомъ пипетки такъ, чтобы фильтръ былъ пустъ до самаго дна, и столбъ кислоты оставался только между внѣшнею поверхностью верхушки фильтра и глиняной пробкой, закупоривающей отверстіе воронки (для того, чтобы легче было удалить всю кислоту изъ фильтра, послѣдній лучше дѣлать изъ куска бумаги, сложенной въ нѣсколько разъ); послѣ этого въ фильтръ осторожно наливаемъ пипеткой же обыкновенную воду такъ, чтобы она немного не достигала до его краевъ,—воду нужно наливать очень осторожно, держа кончикъ пипетки у самой поверхности уже налитой жидкости, чтобы не заставлять ее падать съ высоты, и отнюдь не размѣшивая ее. Легко видѣть, что приготовленная такимъ образомъ воронка

представляетъ такого же типа модель конусообразной мышцы, какъ только что описанныя модели изъ глины, фланели, ваты и т. п., причемъ пропитанный растворомъ кислоты фильтръ отвѣчаетъ смоченной такимъ же растворомъ поверхности модели, а находящаяся въ фильтрѣ вода—внутреннему ея содержимому, въ которомъ должна распредѣляться кислота, диффундирующая со стороны поверхности. Для того, чтобы полу-

Фиг. 19.



Токи, получающіеся отъ воронки, въ которую вставленъ напитанный кислотой фильтръ и потомъ налита вода.

чить отведеніе отъ наружной поверхности такой конусообразной модели, беремъ кусочекъ глины, которому придаемъ удлиненную форму, и продвигаемъ конецъ его на нѣкоторое разстояніе между стекломъ воронки и фильтромъ, другой же конецъ прилѣпляемъ къ краю воронки; очевидно, что если теперь приставить отводящіе электроды такимъ образомъ, чтобы одинъ касался этого куска глины (B), а другой—глиняной пробки, замыкающей нижнее отверстіе (A), то отведеніе будетъ совер-

шаться какъ разъ такъ, какъ намъ нужно, т. е. отъ вершины конусовидной модели-фильтра и отъ точки, лежащей на ея наружной поверхности въ наибольшемъ разстояніи отъ вершины.

Если, приготовивши все такимъ образомъ, мы замкнемъ цѣпь гальванометромъ, то, подобно тому какъ и на описанныхъ выше моделяхъ, никакого отклоненія его не получается, такъ какъ въ обоихъ этихъ случаяхъ отведеніе производится отъ наружной поверхности модели, пропитанной растворомъ одной и той же концентраціи.

Для того, чтобы и тотъ, и другой электроды отводили токъ отъ внутреннихъ слоевъ жидкости, мы можемъ воспользоваться въ качествѣ отводящаго электрода стеклянной трубочкой, наполненной сѣрнокислымъ цинкомъ, нижнее отверстіе которой закрыто глиняной пробкой, а въ верхнее вставлена цинковая палочка, какъ въ электродѣ Дю-Буа Реймона. Если такой электродъ (D) погрузить въ воронку такъ, чтобы нижній его конецъ достигалъ ея дна, находясь на извѣстномъ разстояніи, но не соприкасаясь однако съ внутренней поверхностью фильтра, а другой подобный же или обыкновенный электродъ съ глинянымъ наконечникомъ (C) расположимъ на такомъ же разстояніи отъ поверхности фильтра, но уже въ верхнихъ слояхъ жидкости, или же у самой ея поверхности, то при замыканіи цѣпи можно обнаружить присутствіе тока (стрѣлка *c*), направленіе котораго, какъ и въ мышечномъ конусѣ, будетъ восходящее. Для того, чтобы обезпечить успѣхъ послѣдняго опыта, слѣдуетъ брать вмѣсто бумажнаго фильтра сложенный въ нѣсколько разъ полотняный или фланелевый, могущій впитать въ себя гораздо большее количество раствора кислоты, чѣмъ бумажный [1]).

Но наиболѣе демонстративно могутъ быть произведены подобные опыты съ моделями изъ желатины, впервые испробованными Окербломомъ (l. c.).

[1]) Чтобы устранить возможность проникновенія въ нижніе слои находящейся въ фильтрѣ жидкости кислоты изъ остающагося въ нижней части воронки раствора ея, находящагося между фильтромъ и глиной, закрывающей отверстіе воронки, можно наполнить всю суженную часть воронки сплошь глиной, такъ чтобы верхушка фильтра прямо соприкасалась съ глиной.

Желая провѣрить основательность моихъ предположеній относительно того, что причина возникновенія токовъ наклоненія заключается въ неравномѣрномъ распредѣленіи продуцируемой на поверхности поперечнаго разрѣза угольной кислоты въ мышечномъ веществѣ у вершинъ тупого и остраго угловъ, Окербломъ произвелъ слѣдующій опытъ. Онъ приготовилъ изъ желатины двѣ модели, которыя должны были изображать мышцы съ наклоннымъ сѣченіемъ въ α^0, причемъ одна модель была сдѣлана изъ желатины, растворенной въ обыкновенной дистиллированной водѣ, а другая—въ водѣ съ примѣсью желѣзисто-синеродистаго калія. Оба куска приводились въ соприкосновеніе своими косо-срѣзанными поверхностями, причемъ желтая кровяная соль должна была проникать путемъ диффузіи черезъ поверхность наклоннаго разрѣза въ желатину, заваренную на чистой водѣ, гдѣ и распредѣляться совершенно такъ же, какъ угольная кислота, вырабатываемая на поверхности наклоннаго сѣченія мышцы. Если по прошествіи получаса оба куска снова раздѣлялись, то при отведеніи отъ вершины остраго и тупого угловъ куска, содержавшаго сначала чистую воду, обнаруживался токъ въ томъ же направленіи, что и на мышцѣ, электромоторная сила котораго была при величинѣ угла:

α^0:	60°	45°	30°
	0,004	0,007	0,015 Volt.

Абсолютная величина электродвигательной силы тока была при этомъ, слѣдовательно, приблизительно въ три раза меньше, чѣмъ сила мышечныхъ токовъ наклоненія, что и понятно, принимая во вниманіе незначительную разницу въ скоростяхъ движенія появляющихся при этомъ іоновъ (при полной диссоціаціи $FeCy_6K_4 = FeCy_6 + 4K$ [1]). Отношеніе же между цифрами, получаемыми при различной величинѣ угла наклоне-

[1]) Точно вычислить долженствующую при этомъ появиться электромоторную силу, къ сожалѣнію, невозможно, такъ какъ мы не можемъ знать абсолютную величину концентраціи $FeCy_6K_4$ у вершины того и другого угловъ, а слѣдовательно, и степени и форму диссоціаціи (сколько іоновъ К отщепилось отъ молекулы).

нія α, и въ томъ, и въ другомъ случаѣ довольно близки ($2:3^1/_2:5^1/_2$ — на мышцахъ, и $2:3^1/_2:7^1/_2$ — на модели), и измѣняются, такимъ образомъ, пропорціонально логариѳмамъ отношенія угловъ, какъ и вытекаетъ изъ нашей теоріи.

Я пробовалъ производить подобные же опыты на желатинныхъ моделяхъ, изображавшихъ конусообразныя мышцы. Для приготовленія такихъ моделей я пользовался двумя жестяными трубочками, сдѣланными въ формѣ ужихъ воронокъ, длиною въ 10—12 сант., и съ діаметромъ отверстія въ 1 и 2 сант. Желатинъ, распущенный въ чистой водѣ, вливался въ отверстіе до самаго верха, и по застываніи его изъ формы безъ особаго труда удается вытряхнуть конусообразный сгустокъ, погрузивши форму на одну секунду въ горячую воду. Полученныя такимъ образомъ конусовидныя модели я погружалъ на разное время—отъ нѣсколькихъ минутъ до нѣсколькихъ часовъ—въ $5^0/_0$ растворъ желѣзисто-синеродистаго калія, по вынутіи изъ котораго модель ополаскивалась въ водѣ, осушивалась фильтровальной бумагой и отводилась въ гальванометръ.

При этомъ обыкновенно наблюдается слѣдующій рядъ явленій: первое время вообще никакихъ токовъ на такой модели не замѣчается, затѣмъ появляется слабый восходящій токъ, который мало-по-малу усиливается, достигаетъ извѣстной величины, и затѣмъ начинаетъ слабѣть. Время, необходимое для развитія этихъ отдѣльныхъ фазъ колеблется въ довольно большихъ предѣлахъ, въ зависимости отъ времени, въ теченіе котораго модель была погружена въ желѣзисто-синеродистый калій, количества желатина въ растворѣ, болѣе или менѣе долгаго лежанія вытряхнутой изъ формы модели до погруженія въ растворъ, температуры и влажности воздуха, въ которомъ она въ это время находилась и т. д.

Такая смѣна явленій вполнѣ понятна. Въ первыя минуты по отведеніи тока поверхностные слои модели представляютъ болѣе или менѣе равномѣрно напитанными проникшими въ желатину іонами $FeCy_6K_4$, а слѣдовательно, при отведеніи въ гальванометръ никакой разности потенціала возникнуть не можетъ. По мѣрѣ того, какъ іоны начинаютъ все глубже и

глубже проникать въ желатину, распредѣленіе ихъ внутри модели должно болѣе или менѣе приближаться къ выведенному въ гл. VI закону. Наконецъ, при дальнѣйшемъ продолженіи процесса диффузіи, диффундирующіе іоны $FeCy_6K_4$ будутъ стремиться къ равномѣрному распредѣленію по всей длинѣ конуса-модели, послѣдствіемъ чего должно явиться постепенное уменьшеніе силы тока.

Электромоторная сила этихъ токовъ вообще очень невелика, рѣдко достигая 0,01 Volt; поэтому точныя измѣренія ея при помощи тѣхъ приборовъ, которыми располагалъ я, были затруднительны, однако въ нѣкоторыхъ случаяхъ удавалось констатировать весьма ясно логариѳмическое нарастаніе разности потенціаловъ, по мѣрѣ удаленія верхняго электрода отъ нижняго, который оставался неподвижнымъ въ области вершины конуса, — какъ это и слѣдуетъ, согласно выведенному нами въ гл. VI закону измѣненія концентраціи вдоль мышечнаго конуса. Особенно ясно удавалось мнѣ наблюдать это на моделяхъ, полученныхъ изъ болѣе тонкой формы (отверст. въ 1 сант.), что объясняется тѣмъ обстоятельствомъ, что на нихъ гораздо скорѣе происходитъ проникновеніе вглубь іоновъ $FeCy_6K_4$ и распредѣленіе ихъ, согласное указанному выше закону.

Весьма вѣроятно, что при цѣлесообразномъ сочетаніи указанныхъ выше условій относительно размѣровъ модели, способа приготовленія и сохраненія ея, продолжительности дѣйствія $FeCy_6K_4$ и т. д. было бы возможно всегда уловить моментъ, когда измѣненіе потенціала на ея поверхности будетъ происходить въ логариѳмическомъ отношеніи къ разстояніямъ отводимаго мѣста отъ вершины конуса. Къ сожалѣнію, я не располагалъ достаточнымъ временемъ, чтобы заняться систематическими наблюденіями въ этомъ направленіи.

Во всякомъ случаѣ, описанные опыты съ воронкой и съ желатинными моделями могутъ служить достаточнымъ доказательствомъ правильности и примѣнимости самаго принципа, которымъ мы руководствовались, разсматривая измѣненія потенціала на поверхности конусообразныхъ мышцъ, и у вершинъ тупого и острагo угловъ при токахъ наклоненія, какъ

результатъ неравномѣрнаго распредѣленія внутри мышцы іоновъ угольной кислоты продуцируемыхъ на поверхности.

Теперь намъ остается еще устранить одно возможное здѣсь затрудненіе. Согласно изложенному выше, отсутствіе тока на моделяхъ при отведеніи отъ двухъ точекъ смоченной растворомъ поверхности становится вполнѣ понятнымъ. Но тутъ сейчасъ же можетъ возникнуть другой вопросъ: какъ объяснить въ такомъ случаѣ токъ, получаемый на живой мышцѣ, который, какъ мы доказывали раньше, происходитъ вслѣдствіе неравномѣрнаго распредѣленія внутри мышечнаго конуса угольной кислоты, образующейся на *равномѣрно* раздраженной поверхности мышцы?

Однако, такое видимое противорѣчіе на самомъ дѣлѣ только кажущееся. Дѣло въ томъ, что мышечныя волокна отнюдь не покрываютъ поверхность мышцы въ видѣ такого сплошного слоя, который можно было бы уподобить листу фильтровальной бумаги, покрывающему нашу модель, будучи раздѣлены находящимися между ними соединительнотканными прослойками, такъ что всякая мышца какъ въ толщѣ своей, такъ и на поверхности не представляетъ такой гомогенной структуры, какъ разсмотрѣнныя нами модели, а является сложнымъ образованіемъ, состоящимъ главнымъ образомъ изъ двухъ частей — мышечной и соединительнотканной. Первая изъ нихъ, кромѣ своего количественнаго преобладанія, важна для насъ еще въ томъ отношеніи, что она является главнѣйшимъ или даже почти единственнымъ генераторамъ угольной кислоты, которой обязанъ своимъ происхожденіемъ мышечный токъ, такъ какъ, хотя элементы соединительной ткани тоже, какъ и всякій живой элементъ, должны при раздраженіи вырабатывать углекислоту, но количество послѣдней можетъ быть принято совершенно незначительнымъ по сравненію съ углекислотой, вырабатываемой мышечной протоплазмой. Но, съ другой стороны, весьма важное значеніе въ данномъ случаѣ соединительнотканной части явствуетъ изъ того, что какъ бы ни былъ незначителенъ и тонокъ слой ея, покрывающій поверхность собственно мышечныхъ элементовъ, отведеніе тока совершается при ея непосредственномъ участіи, такъ какъ отводящіе электроды находятся въ соприкосновеніи именно съ соединительнотканными оболочками, покрывающими мышцу, а не непосредственно съ мышечными волокнами, продуцирующими угольную кислоту. Благодаря этому величина электродвигательной силы будетъ обусловлена въ концѣ концовъ (ср. стр. 59) не осмотическимъ давленіемъ CO_3H_2, которое существуетъ внутри каждаго даннаго мышечнаго волокна, въ области котораго приложенъ электродъ, а отъ давленія ея въ окружающей соединительнотканной стромѣ съ ея лимфатическими щелями и проч., которое можетъ быть значительно меньше давленія ея внутри волоконъ.

Такимъ образомъ, съ этой стороны мы должны представлять себѣ каждую мышцу, какъ аггрегатъ отдѣльныхъ мышечныхъ волоконъ, продуцирующихъ углекислоту и погруженныхъ въ индифферентную строму, въ которой эта углекислота распредѣляется. Слѣдовательно, если мы предположимъ, что имѣемъ дѣло съ идеальнымъ случаемъ какой-нибудь конусообразной мышцы, находящейся въ абсолютномъ покоѣ, то мы можемъ допустить, что при этомъ въ соединительнотканной стромѣ, въ которой заложены покоящіяся, т. е. непродуцирующіе CO_3H_2 мышечныя волокна, совершенно отсутствуютъ іоны угольной кислоты. Какъ только поверхность такой мышцы подвергается раздраженію, поверхностный слой мышечныхъ волоконъ, лежащихъ непосредственно подъ перемизіемъ на протяженіи наружной поверхности мышечнаго конуса, приходитъ въ дѣятельное состояніе и начинаетъ продуцировать углекислоту, которая и будетъ распредѣляться во всей остальной пребывающей въ покоѣ массѣ мышцы, причемъ распредѣленіе это будетъ совершаться, очевидно, на основаніи выведеннаго выше соотношенія между поверхностью мышечнаго конуса и объемомъ мышечнаго вещества въ каждомъ данномъ участкѣ, находящемся на извѣстномъ разстояніи отъ вершины мышечнаго конуса, благодаря чему и появится восходящій мышечный токъ. Такимъ образомъ появленіе тока не находится въ данномъ случаѣ въ такой непосредственной связи съ мѣстомъ, гдѣ возникаетъ угольная кислота, какъ это имѣется въ отношеніи демаркаціоннаго

тока, идущаго прямо отъ мѣста ея образованія поперечно-перерѣзаннаго конца мышечнаго волокна: паденіе потенціала совершается здѣсь не внутри мышечнаго волокна, продуцирующаго углекислоту, а внѣ его—въ окружающемъ веществѣ, гдѣ эта углекислота распредѣляется, и отъ котораго совершается отведеніе тока.

Такимъ образомъ условія, имѣющіяся въ наличности при отведеніи тока отъ какой-нибудь конусообразной мышцы, ближе всего осуществляются въ той формѣ описаннаго нами выше опыта съ воронкой и фильтромъ, при которомъ отведеніе совершается прямо отъ внутреннихъ слоевъ содержащейся въ фильтрѣ жидкости посредствомъ залѣпленной глиной стеклянной трубочки или же, напримѣръ, посредствомъ отверстія, продѣланнаго въ фильтрѣ.

Роль мышечныхъ волоконъ, находящихся на раздраженной поверхности, скорѣе всего можно сравнить въ этомъ случаѣ съ ролью, какую играетъ при возникновеніи концентраціонныхъ электрическихъ токовъ та часть находящагося въ растворѣ электролита, которая не диссоціирована еще на отдѣльные іоны, и которая не принимаетъ сама по себѣ, какъ таковая, участія въ возникновеніи и проведеніи электрическаго тока, служа лишь матеріаломъ, изъ котораго образуются новые іоны по мѣрѣ выдѣленія на электродахъ іоновъ, находившихся раньше въ растворѣ. Или же можно уподобить здѣсь мышечныя волокна кристалламъ какого-нибудь электролита, растворяющимся въ жидкости, въ которой происходитъ возникновеніе диффузіоннаго тока: каждый кристаллъ, самъ по себѣ, растворяясь въ жидкости, не будетъ вліять на паденіе потенціала въ ту или другую сторону, но измѣненіе концентраціи раствора вслѣдствіе растворенія кристалла можетъ обусловить измѣненіе потенціала и возникновеніе тока.

Въ этомъ отношеніи мы можемъ провесть слѣдующую аналогію между растореніемъ кристалла электролита въ водѣ и образованіемъ CO_3H_2 въ мышечной протоплазмѣ. Возьмемъ кристаллъ какого-нибудь электролита, дающаго, какъ и угольная кислота, болѣе быстро движущіеся положительные іоны, напримѣръ кристаллъ уксусной кислоты. Если теперь, опустивши

кристаллъ въ воду, отвесть токъ такимъ образомъ, чтобы одинъ электродъ находился въ непосредственномъ соприкосновеніи съ кристалломъ, а другой прикасался съ поверхностью воды на нѣкоторомъ разстояніи отъ перваго [1]), то гальванометръ немедленно обнаружитъ присутствіе тока, идущаго (въ жидкости) отъ кристалла къ другому электроду. Этотъ токъ будетъ, слѣдовательно, вполнѣ аналогиченъ съ демаркаціоннымъ токомъ, идущимъ отъ поверхности поперечнаго разрѣза мышцы, гдѣ происходитъ образованіе CO_3H_2, къ электроду. Но если отведеніе совершается не прямо отъ кристалла, а послѣдній помѣщается на нѣкоторомъ (хотя бы и неравномъ) разстояніи отъ того и другого электрода, то тока совсѣмъ не получится, такъ какъ іоны, поступающіе въ жидкость при растореніи кристалла, равномѣрно распространяясь во всѣ стороны, не вызовутъ никакого паденія потенціала (стр. 59). То же самое будетъ, если въ водѣ помѣстить не одинъ, а нѣсколько кристалловъ въ разныхъ разстояніяхъ отъ электродовъ, но такъ, чтобы ни тотъ ни другой электродъ не соприкасался прямо ни съ однимъ кристалломъ. Но если въ этомъ послѣднемъ случаѣ окажется, что вблизи одного электрода сосредоточено очень много кристалловъ, а въ области другого ихъ, напротивъ, мало, то мы можемъ получить болѣе или менѣе сильный токъ, идущій (въ жидкости) отъ перваго электрода ко второму, и зависящій отъ того, что концентрація жидкости въ области перваго электрода, гдѣ на извѣстномъ пространствѣ сосредоточено много кристалловъ, окажется значительнѣе, нежели у другого, гдѣ на тотъ же объемъ воды ихъ приходится меньше [2]). Однимъ словомъ, здѣсь будутъ даны условія, подобныя тѣмъ, какія имѣютъ мѣсто на конусообразной мышцѣ или же у вершинъ тупого и острагo угловъ косого поперечнаго разрѣза, гдѣ количества CO_3H_2, развиваемой въ томъ и другомъ изъ

[1]) Для этого проще всего воспользоваться въ качествѣ отводящихъ электродовъ двумя мокрыми нитками, изъ которыхъ къ одной привязывается кристаллъ, а другая прямо погружается въ воду.

[2]) Этотъ опытъ удобнѣе всего произвесть съ кускомъ ваты, намоченномъ въ водѣ, причемъ на одномъ его концѣ кладется нѣсколько небольшихъ кристалловъ $C_2H_4O_2$, а другой густо ими обсыпается; оба мѣста покрываются сверху тонкимъ слоемъ мокрой ваты, отъ которой и совершается отведеніе.

отводимыхъ мѣстъ каждымъ элементомъ поверхности, совершенно одинаковы, но объемъ жидкости, который приходится на долю каждаго такого элемента различенъ. Аналогія этатѣмъ рельефнѣе, что какъ на поверхности наклоннаго разрѣза, такъ и на поверхности икроножной мышцы (ср. фиг. 14 и 16) угольная кислота вырабатывается главнымъ образомъ отмирающими кончиками каждаго мышечнаго волокна, которые и могутъ быть уподоблены нашему кристаллу. Съ этой точки зрѣнія такая поверхность можетъ быть представлена какъ-бы усыпанной кристаллами CO_3H_2.

Полнота этой аналогіи нарушается, однако, въ одномъ отношеніи. Дѣло въ томъ, что конусообразная мышца, какъ бы близко ни приближалась она по формѣ къ правильному конусу, всегда будетъ отличаться отъ нашихъ моделей негомогенностью своей структуры. Въ то время, какъ внутренность модели,—будь она сдѣлана изъ желатины, ваты или какого-нибудь другого матеріала,—представляетъ по всей толщѣ совершенно однообразное строеніе, вещество мышцы должно быть разсматриваемо, какъ многократное наслоеніе по крайней мѣрѣ двухъ основныхъ тканей—мышечной и соединительной.

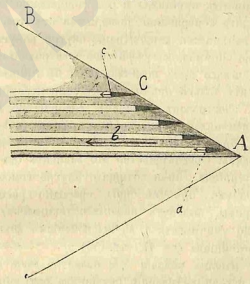
Обстоятельство это имѣетъ для насъ очень важное значеніе, такъ какъ только благодаря ему возможно то суммированіе диффузіоннаго тока, обусловленнаго неодинаковой концентраціей іоновъ въ разныхъ участкахъ мышечнаго конуса, съ демаркаціоннымъ токомъ, происходящимъ благодаря процессу отмиранія на прижженныхъ кончикахъ мышечныхъ волоконъ, о которомъ говорилось выше (гл. VI, стр. 171).

Какъ было уже объяснено, такое суммированіе должно происходить въ томъ случаѣ, когда отведеніе тока совершается съ одной стороны—отъ болѣе близкихъ къ сухожилью участковъ, гдѣ имѣетъ мѣсто фасеточное прикрѣпленіе мышечныхъ волоконъ къ сухожильному растяженію, а съ другой—отъ верхнихъ участковъ, гдѣ это фасеткообразное прикрѣпленіе уже окончилось. При этихъ условіяхъ въ цѣпи будетъ находиться два источника паденія потенціала (фиг. 20): одинъ на мѣстѣ демаркаціонной плоскости (стрѣлка *a*) на отмирающемъ кончикѣ мышечнаго волокна, другой—въ самой толщѣ вещества

мышцы (стрѣлка *b*), и полная электродвигательная сила тока выразится суммой этихъ двухъ паденій.

Легко убѣдиться, что ничего подобнаго не можетъ происходить на описанныхъ выше моделяхъ. Въ самомъ дѣлѣ, предположимъ, что мы имѣемъ дѣло съ желатиновымъ конусомъ, который, согласно изложенному выше, усыпанъ кристаллами, напр., уксусной кислоты, которые должны представлять прижженные кончики мышечныхъ волоконъ, вырабатывающіе угольную кислоту.

Фиг. 20.



Согласно нашей теоріи, концентрація іоновъ угольной кислоты внутри конусообразной модели при этихъ условіяхъ будетъ прогрессивно убывать по направленію отъ вершины конуса къ его основанію. Отведемъ теперь токъ, приставивши одинъ неполяризующійся электродъ къ вершинѣ конуса, а другой къ его основанію. При этомъ допустимъ, что нижній электродъ находится въ соприкосновеніи съ однимъ изъ кристалловъ, который такимъ образомъ будетъ соотвѣтствовать кончику мышечнаго волокна, демаркаціонный токъ отъ котораго долженъ былъ бы суммироваться съ концентраціоннымъ токомъ, возникающимъ въ самой толщѣ мышцы-модели.

Очевидно, что при такихъ условіяхъ концентрація іоновъ уксусной кислоты у наконечника нижняго электрода достигнетъ максимальнаго предѣла, какой вообще при этомъ возможенъ, а концентрація у верхняго электрода, соприкасающагося прямо съ желатиной, будетъ гораздо меньше. При этомъ, несомнѣнно, долженъ появиться диффузіонный электрическій токъ, однако очевидно, что его электродвигательная сила во всякомъ случаѣ не можетъ превышать силы демаркаціоннаго тока (т. е. въ данномъ примѣрѣ такого, который получился бы при отведеніи отъ кристалла и отъ совершенно чистой желатины) и будетъ совершенно независима отъ того обстоятельства, какъ измѣняется концентрація внутри конуса, ибо, какъ неоднократно упоминалось уже выше, электродвигательная сила концентраціоннаго тока, возникающаго въ гомогенномъ растворѣ, зависитъ только отъ отношенія концентрацій въ точкахъ приложенія электродовъ, причемъ совершенно безразлично, какъ бы ни измѣнялась концентрація въ промежуткѣ между ними.

Такимъ образомъ никакого суммированія потенціала здѣсь не произойдетъ. Обстоятельство это зависитъ отъ самовыравниванія потенціала, происходящаго внутри гомогеннаго жидкаго проводника, причемъ іоны, свободно распространяясь во всѣ стороны, вызовутъ паденія потенціаловъ, которые будутъ взаимно уничтожаться, за исключеніемъ двухъ крайнихъ скачковъ потенціала (гл. II, стр. 59).

Внутри мышцы условія для развитія тока иныя. Здѣсь отдѣльные источники паденій потенціала отдѣлены одинъ отъ другого полупроницаемыми перегородками, которыя исключаютъ возможность свободнаго передвиженія іоновъ въ разныя стороны. Благодаря этому каждый изъ этихъ источниковъ дѣйствуетъ въ качествѣ совершенно самостоятельнаго элемента, введеннаго въ гальваническую цѣпь. Въ томъ, напримѣръ, случаѣ, когда токъ отводится такъ, какъ это изображено на нашемъ схематическомъ рисункѣ, демаркаціонная плоскость a, на концѣ мышечнаго волокна, гдѣ происходитъ первый скачекъ потенціала, отдѣлена отъ мѣста второго паденія его b оболочкой мышечнаго волокна A, которая, задерживая диффузію іоновъ изъ межмышечной прослойки b внутрь волокна, заставитъ ихъ всѣ двигаться въ одномъ направленіи, указываемомъ стрѣлкой, и такимъ образомъ оба источника паденія потенціала a и b будутъ совершенно отдѣлены другъ отъ друга такъ же, какъ если-бы между ними была вставлена перегородка, напр., изъ какого-нибудь металла, легко проводящаго электрическій токъ, но исключающаго возможность какого-либо самовыравниванія потенціала въ указанномъ выше смыслѣ.

На нашемъ схематическомъ рисункѣ постепенное уменьшеніе концентраціи по направленію отъ вершины конуса къ его основанію изображено постепеннымъ уменьшеніемъ тѣни; волокна же сдѣланы совершенно незатѣненными, за исключеніемъ черныхъ кончиковъ, гдѣ концентрація должна достигать максимальной величины. Это такъ и должно быть въ дѣйствительности. Дѣло въ томъ, что накопленіе іоновъ внутри конусообразной мышцы, согласно нашему предположенію, происходитъ путемъ диффузіи изъ отмирающихъ кончиковъ мышечныхъ волоконъ, находящихся на поверхности мускула. Проникая въ глубину, эти іоны будутъ болѣе или менѣе равномѣрно распредѣляться внутри мышечнаго конуса, но только *въ его соединительно-тканной части*, такъ какъ проникновеніе ихъ внутрь проходящихъ здѣсь мышечныхъ волоконъ будетъ препятствовать опутывающія ихъ плотныя оболочки (сарколемма). Поэтому каждое мышечное волокно, за исключеніемъ отмирающаго кончика своего, будетъ почти свободно отъ угольной кислоты, и, слѣдовательно, будетъ относиться совершенно такъ же, какъ поперечно-перерѣзанное волокно при нанесеніи поперечнаго разрѣза, причемъ и паденіе потенціала на его концѣ, должно быть такое же, какъ при демаркаціонномъ токѣ.

Въ такомъ именно смыслѣ слѣдуетъ представлять себѣ, съ нашей точки зрѣнія, тѣ довольно сложныя отношенія, которыя должны сопровождать появленіе электрическаго тока въ конусовидныхъ мышцахъ.

Аналогичныя же отношенія должны имѣть мѣсто и при токахъ наклоненія. Если отведеніе производится отъ двухъ точекъ поперечнаго разрѣза, находящихся на нѣкоторомъ разстояніи отъ вершинъ тупого и остраго угловъ, то скачки потенціала, обусловливаемые находящимися у обоихъ отво-

димыхъ мѣстъ демаркаціонными плоскостями на концахъ перерѣзанныхъ волоконъ, взаимно компенсируютъ другъ друга, и въ гальванометрѣ обнаруживается только электродвигательная сила, происходящая отъ разности концентраціи CO_3H_2 у вершины того и другого угла, но стоитъ только перенесть электродъ, находящійся у тупого угла, на неповрежденную продольную поверхность мышцы, — и мы немедленно получимъ рѣзкое усиленіе тока, благодаря тому, что демаркаціонный скачекъ потенціала у электрода, находящагося у остраго угла, будетъ суммироваться съ паденіемъ потенціала вслѣдствіе разности концентрацій, причемъ электромоторная сила съ 0,02—0,04 вольта достигаетъ 0,06—0,08 вольта (см. выше, гл. V, стр. 153).

Глава IX.

Электромоторная дѣятельность железъ.

Уже Дю-Буа Реймонъ во время производства своихъ знаменитыхъ изслѣдованій надъ мышечными токами лягушки убѣдился, что покрывающая мускулатуру кожа сама по себѣ является источникомъ сильной электромоторной дѣятельности, не уступающей по величинѣ токамъ мышцъ. Однако всѣ попытки найти какую-либо закономѣрность въ распредѣленіи электрическаго напряженія на поверхности кожи лягушки, какъ въ нормальномъ ея состояніи, такъ и на вырѣзанныхъ кускахъ, показали, что кожные токи постоянно мѣняются какъ по величинѣ, такъ и по направленію при отведеніи отъ однихъ и тѣхъ же мѣстъ не только у разныхъ лягушекъ, но даже у одного и того же индивидуума въ разное время. Достаточно малѣйшаго измѣненія въ температурѣ, влажности, или иныхъ какихъ-либо внѣшнихъ условіяхъ, — иногда и безъ всякой видимой причины, — чтобы значительный по силѣ токъ вдругъ упалъ до нуля или совсѣмъ извратился въ направленіи. Единственные факты, которые удалось установить, заключаются въ томъ, что на вырѣзанныхъ кускахъ кожи, независимо отъ мѣста, съ котораго они сняты, можно постоянно доказать присутствіе тока при отведеніи отъ наружной, покрытой железами, и внутренней поверхности, причемъ первая является отрицательной по отношенію ко второй (входящій токъ).

Такой же входящій токъ можно наблюдать и на невырѣзанной кожѣ: для этого стоитъ только одинъ электродъ приложить къ поверхности кожи, а другой къ какой-нибудь совершенно индифферентной части, напр. къ обнаженной кости,

или къ неповрежденной мышцѣ, съ которой только что осторожно удалена кожа; при этомъ электродъ, стоящій на кожѣ, всегда является отрицательнымъ по отношенію къ стоящему на мышцѣ (при томъ, конечно, условіи, что мышца совершенно не повреждена и не развиваетъ сама тока). При этой формѣ опыта оказывается, что сила тока вообще тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе развиты железы на отводномъ мѣстѣ кожи. Въ общемъ величина электромоторной силы токовъ кожи и слизистыхъ оболочекъ колеблется у лягушки въ тѣхъ же предѣлахъ, какъ и величина мышечныхъ токовъ, достигая при нѣкоторыхъ условіяхъ 0,1 D. При этомъ на цѣлой, неповрежденной лягушкѣ всѣ участки, обильно покрытые железами, являются въ то же время болѣе отрицательными (входящій токъ) по отношенію къ тѣмъ, гдѣ железъ меньше: такъ спинная поверхность отрицательна по отношенію къ брюшной, нижняя часть спины около задняго прохода, гдѣ железы особенно скучены, отрицательна по отношенію къ головѣ. Такія же отношенія существуютъ на кожѣ, снятой цѣликомъ.

Изъ перечисленныхъ фактовъ Дю-Буа Реймонъ заключилъ, что электромоторная дѣятельность кожи лягушки находится въ тѣсной связи съ покрывающими ее железами, и что эта сила имѣетъ направленіе снаружи внутрь (входящій токъ). Дальнѣйшими изслѣдованіями, произведенными какъ на лягушкѣ, такъ на другихъ животныхъ, было установлено, что такими же свойствами обладаютъ и всѣ другія покрытыя железами поверхности, какъ-то слизистыя оболочки рта, желудка, и кишечника лягушки, рыбъ, а также и млекопитающихъ; съ другой стороны оказалось, что электромоторная дѣятельность ихъ уничтожается, если будетъ разрушенъ верхній эпителіальный слой посредствомъ соскабливанія или прижиганія какимъ-нибудь ѣдкимъ веществомъ, напр. $AgNO_3$.

Такимъ образомъ, электромоторную дѣятельность можно причислить къ основнымъ свойствамъ железистой ткани, точно такъ же, какъ причисляемъ мы ее къ основнымъ жизненнымъ проявленіямъ мышечной и нервной ткани. Дю-Буа Реймонъ, а за нимъ и всѣ другіе электрофизіологи, такъ и смотрѣли на электрическіе токи кожи и слизистыхъ оболочекъ, какъ

на токи железистые, причемъ Дю-Буа Реймонъ предполагаетъ и здѣсь присутствіе электродвигательныхъ молекулъ, аналогичныхъ тѣмъ, изъ которыхъ, по его теоріи, состоятъ мускулы и нервы, не вдаваясь однако въ детальное разсмотрѣніе вопроса о распредѣленіи и отношеніяхъ этихъ молекулъ къ субстанціи железъ, и вовсе отказываясь дать какое-либо объясненіе тому непостоянству и измѣнчивости, которыми отличаются эти токи. Что касается Германа, то источникъ возникновенія электромоторной силы онъ видитъ и здѣсь въ альтераціонныхъ измѣненіяхъ протоплазмы железистыхъ клѣтокъ [1]). Какъ извѣстно, при секреціи слизистыхъ железъ (которыя вообще служили почти исключительно объектомъ электрофизіологическихъ изслѣдованій) каждая клѣтка претерпѣваетъ частичный слизистый метаморфозъ на свободномъ своемъ концѣ, обращенномъ къ просвѣту железы, тогда какъ базальная ея часть остается, повидимому, въ относительномъ покоѣ. Согласно теоріи Германа дѣятельная часть должна быть отрицательна по отношенію къ покойной, а потому токъ долженъ имѣть направленіе отъ дѣятельной—внѣшней (обращенной къ просвѣту) части къ покоящейся базальной, т. е. внутрь железы (входящій токъ, einsteigende Strom), что и есть на самомъ дѣлѣ. Причину непостоянства токовъ кожи и слизистыхъ оболочекъ Германъ видитъ въ постоянныхъ измѣненіяхъ, которымъ подвержена дѣятельность железъ вслѣдствіе легкой доступности вліянію внѣшнихъ агентовъ.

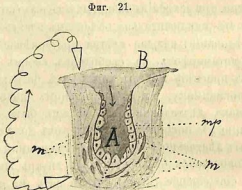
Изъ другихъ теорій кожныхъ токовъ слѣдуетъ упомянуть теорію Энгельмана, который вовсе отрицаетъ у железистой протоплазмы способность вырабатывать электрическую энергію, и считаетъ источникомъ ея мышечный слой изъ гладкихъ мышечныхъ элементовъ, заложенныхъ у основанія каждой железы. Теорія Энгельмана не получила права гражданства въ физіологіи. Дѣло въ томъ, что присутствіе сократительнаго мышечнаго слоя удается доказать далеко не у всѣхъ железъ, развивающихъ тѣмъ не менѣе значительную электродвигатель-

[1]) Исторію вопроса см. В. Вартановъ. Гальваническія явленія въ кожѣ лягушки. Дис. Спб. 1892. Въ болѣе недавнее время Германъ пытался доказать, что тутъ принимаетъ участіе также и эпителій кожи (см. ниже).

ную силу. Съ другой стороны, каждая изъ гладко-мускульныхъ клѣтокъ, окружающихъ дно железы, представляетъ совершенно самостоятельную анатомическую единицу, и какъ таковая, при сокращеніи in toto, не можетъ развивать электрическихъ токовъ, доступныхъ наблюденію (см. гл. VII).

Чтобы понять, какъ представляется дѣло съ точки зрѣнія развиваемой нами теоріи о возникновеніи электрическихъ токовъ живыхъ тканей, какъ результатѣ диффузіи іоновъ, разсмотримъ сначала общую схему строенія железъ (фиг. 21).

Фиг. 21.



Общая схема строенія железы. *m*—membrana propria; *mp*—гладкія мышечныя волокна; A—секретъ, выполняющій железу; B—водянистая жидкость на поверхности.

Всякая железа, кромѣ сосудовъ и нервовъ, состоитъ изъ троякаго рода элементовъ, расположенныхъ послойно одинъ надъ другимъ: 1) собственно железистой субстанціи, состоящей изъ клѣтокъ не одинаковыхъ по количеству, формѣ, величинѣ и функціи, сообразно съ функціей самой железы и ея мѣстонахожденіемъ; 2) болѣе или менѣе ясно выраженной соединительнотканной перепонки (*mp*), окутывающей эти клѣтки и отдѣляющей ихъ отъ подлежащей ткани (membrana propria), и 3) тоже въ различной степени развитаго мышечнаго слоя (*m*), состоящаго изъ гладкихъ мышечныхъ

волоконъ, лежащихъ подъ membrana propria и охватывающихъ железу въ большей или меньшей степени. Всѣ эти части могутъ быть въ различной степени развиты и занимать нѣсколько иное расположеніе, чѣмъ это изображено на приведенномъ рисункѣ, но типъ строенія остается одинъ и тотъ же. Даже такія образованія, какъ бокаловидныя железы кишечнаго тракта, функціонирующія какъ одиночныя слизистыя клѣтки, могутъ быть подведены подъ эту схему, если разсматривать общую подэпителіальную перепонку (membrana basilaris) и расположенный подъ ней гладко-мускульный слой, какъ membrana propria съ принадлежащими ей гладко-мышечными волокнами.

Четвертый элементъ, который входитъ въ схему железы, представляетъ готовый продуктъ ея жизнедѣятельности—железистый секретъ, такъ какъ даже при покойномъ состояніи железы извѣстное количество секрета всегда имѣется на лицо, выполняя въ большей или меньшей степени ея просвѣтъ. Это послѣднее обстоятельство имѣетъ для насъ важное значеніе, потому что при отведеніи тока отъ железы при помощи неполяризующихся электродовъ выполняющій ее секретъ служитъ связующимъ звѣномъ гальванической цѣпи, ибо наконечникъ электрода не можетъ проникнуть въ самую железу, и если секрета нѣтъ вовсе, или его такъ мало, что онъ не достигаетъ шейки железы и не находится въ непосредственномъ соприкосновеніи съ влажной поверхностью отводимаго участка кожи или слизистой оболочки, то появленіе электрическаго тока, очевидно, невозможно. Многіе авторы, какъ Энгельманъ [1]), Германъ [2]), Бидерманъ [3]) отмѣчаютъ этотъ фактъ непосредственной связи per continuitatem между секретомъ (A), выполняющимъ просвѣтъ железы, и слизистой жидкостью (B), находящейся на отводимой поверхности кожи или слизистой оболочки, какъ необходимое условіе для того, чтобы при отведеніи получить въ гальванометрѣ токъ. Энгельманъ при своихъ обстоятельныхъ микроскопическихъ изслѣ-

[1]) Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 5 и 6.
[2]) Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 58.
[3]) Elektrophysiologie, I, S. 395.

дованіяхъ кожныхъ железъ лягушки находилъ, что просвѣтъ ихъ наполненъ содержимымъ, которое періодически выталкивается на поверхность при помощи ритмическаго сокращенія гладкихъ мышечныхъ волоконъ, которыми снабжена каждая железка.

Если теперь, руководствуясь только что начертанной схематической картиной строенія железы, мы будемъ при ея помощи отыскивать наиболѣе вѣроятный источникъ, откуда можетъ возникнуть железистый токъ, то, очевидно, прежде всего должны будемъ задать себѣ слѣдующій вопросъ: если секретъ, содержащійся въ железахъ, находится въ непосредственномъ соприкосновеніи съ покрывающимъ кожу слоемъ жидкости, то не можетъ ли одно это обстоятельство служить причиной возникновенія диффузіоннаго тока на границѣ соприкосновенія?

Отвѣтъ на это, несомнѣнно, долженъ быть утвердительный. Дѣло въ томъ, что чистый секретъ железъ, находящихся на кожѣ и слизистыхъ оболочкахъ лягушки, представляетъ относительно довольно концентрированный растворъ нѣсколькихъ среднихъ и основныхъ солей щелочныхъ металловъ, главнымъ образомъ натрія (около $0{,}5^0/_0$), тогда какъ жидкость, покрывающая кожу лягушки, а также и слизистыя оболочки пищеварительнаго тракта,—которыя послѣ кожи больше всего служили объектомъ наблюденія железистыхъ токовъ,—представляетъ по составу не что иное, какъ просто воду,—въ первомъ случаѣ прямо изъ сосуда, гдѣ помѣщалось животное, а во второмъ—имъ проглоченную, и при обычномъ, покойномъ состояніи только отчасти смѣшанную съ продуктами железистой секреціи [1]). Поэтому, при обыкновенныхъ условіяхъ, концентрація содержащагося въ просвѣтѣ железы чистаго секрета болѣе или менѣе значительно превосходитъ концентрацію жидкости, смачивающей поверхность, такъ какъ послѣдняя представляетъ разведенный растворъ первой. При такихъ условіяхъ на ихъ границѣ необходимо должна происходить диффузія солей изъ болѣе концентрированнаго раствора къ менѣе концентрированному, т. е. по направленію извнутри железы кнаружи —

[1]) Въ кишечникѣ, быть можетъ, сюда присоединяется еще нѣкоторое количество транссудата, тоже мало концентрированнаго.

на поверхность, а, слѣдовательно, тѣмъ самымъ будетъ дано условіе для развитія электромоторной силы [1]).

Теперь слѣдуетъ рѣшить вопросъ, является ли указанный концентраціонный токъ единственнымъ источникомъ электромоторной дѣятельности въ железѣ, и не можетъ ли при описанныхъ условіяхъ внутри железы возникнуть другой электродвигательной силы,—напримѣръ, вслѣдствіе диффузіи вырабатываемаго секрета изъ железы въ глубину окружающихъ тканей.

Принимая во вниманіе изложенныя въ предыдущей главѣ условія для возникновенія концентраціонныхъ токовъ внутри влажныхъ проводниковъ, мы должны придти къ заключенію, что другого концентраціоннаго тока, кромѣ указаннаго выше, въ железѣ возникнуть не можетъ. Это вытекаетъ изъ того, что диффузія изъ просвѣта железы внутрь подлежащихъ тканей встрѣчаетъ весьма сильное препятствіе въ окружающей всю железу membrana propria, которая, принадлежа къ безструктурнымъ животнымъ перепонкамъ, должна приближаться по физическимъ свойствамъ къ наиболѣе совершеннымъ полупроницаемымъ перепонкамъ (halbdurchlässige Membranen), т. е. быть почти непроницаема для частицъ растворенныхъ веществъ, тогда какъ диффузія черезъ просвѣтъ железы въ находящуюся на поверхности кожи жидкость происходитъ совершенно безпрепятственно. Впрочемъ, если бы membrana propria даже не

[1]) Если бы мы могли точнымъ образомъ опредѣлить количество всѣхъ солей какъ въ томъ, такъ и въ другомъ растворѣ, то могли бы вычислить и электродвигательную силу дѣйствующаго возникнуть здѣсь электрическаго тока, а также его направленіе, ибо всѣ другіе элементы, входящіе въ составъ железистаго секрета, какъ бѣлковыя вещества, ферменты и т. п., для насъ не имѣютъ значенія, такъ какъ не принадлежатъ къ числу электролитовъ, и въ возникновеніи электрическаго тока никакого участія не принимаютъ. Но такого опредѣленія въ настоящее время сдѣлать, конечно, невозможно. Нѣтъ сомнѣнія далѣе, что въ дѣйствительности настоящей границы между упомянутыми двумя жидкостями не существуетъ. Онѣ незамѣтно смѣшиваются и переходятъ одна въ другую, такъ что слой чистаго секрета максимальной концентраціи имѣется только на самомъ днѣ железы, непосредственно у клѣтокъ его образующихъ, а наименѣе концентрированная часть будетъ на самой поверхности. Но это обстоятельство, какъ уже упоминалось (гл. II, стр. 59), не можетъ имѣть вліянія на величину электродвигательной силы получающагося при этомъ диффузіоннаго тока.

существовала, то и тогда дѣло по существу не измѣнилось бы, такъ какъ условія для диффузіи и возникновенія паденія потенціала въ двухъ указанныхъ направленіяхъ, очевидно, слишкомъ неодинаковы, и могущая появиться электромоторная сила вслѣдствіе диффузіи въ глубь тканей была бы во всякомъ случаѣ настолько незначительна, что ее можно не принимать вовсе въ разсчетъ (ср. гл. VII).

Такимъ образомъ, мы приходимъ къ заключенію, что *единственнымъ источникомъ для возникновенія концентраціоннаго тока внутри железъ во всякомъ случаѣ должна быть признана диффузія солей изъ концентрированнаго секрета, содержащагося внутри железы, въ разведенный водянистый слой, находящійся на поверхности кожи или слизистой оболочки.*

Если бы мы могли теперь найти способъ вычислить теоретически величину электродвигательной силы, долженствующей развиться вслѣдствіе диффузіи железистаго секрета изъ глубины железы по направленію къ поверхности, и затѣмъ сравнить, какъ дѣлали это относительно мышечнаго тока, вычисленную величину, съ той, которую дастъ непосредственное измѣреніе, то тѣмъ самымъ можно было бы окончательно рѣшить вопросъ о сущности электромоторной дѣятельности железъ. Но такое вычисленіе сдѣлать нельзя, такъ какъ мы не имѣемъ никакого способа даже приблизительно опредѣлить сравнительную концентрацію чистаго секрета внутри железы и разрѣженной жидкости, находящейся въ выводномъ протокѣ, или смачивающей отводимую поверхность кожи или слизистой оболочки. Поэтому приходится прибѣгнуть къ косвеннымъ доказательствамъ справедливости развиваемой нами мысли, которыя, очевидно, должны заключаться въ слѣдующемъ: *во-первыхъ, мы должны доказать что предполагаемый электрическій токъ, долженствующій произойти вслѣдствіе неодинаковости концентраціи раствора солей внутри железы и на поверхности кожи или слизистой оболочки, необходимо будетъ имѣть то же самое направленіе, какое имѣетъ и наблюдаемый въ дѣйствительности токъ, и во-вторыхъ, что всѣ тѣ моменты, которые могутъ усиливать*

или ослаблять диффузію солей изъ глубины железы на поверхность, пропорціонально усиливаютъ или ослабляютъ токъ, наблюдаемый посредствомъ гальванометра.

Что касается до направленія электрическаго тока, развивающагося при диффузіи двухъ неодинаково концентрированныхъ солевыхъ растворовъ, то мы видѣли, что оно зависитъ отъ относительной скорости положительнаго и отрицательнаго іоновъ: если первый движется скорѣе второго, то направленіе электрическаго тока будетъ одинаково съ направленіемъ диффузіи, въ противномъ случаѣ—обратно.

Секретъ железъ представляетъ однако растворъ не одной какой-нибудь соли, а нѣсколькихъ, и это обстоятельство могло бы значительно усложнить вопросъ, если бы процентное отношеніе ихъ въ растворѣ было приблизительно одинаково; но относительно слизистыхъ железъ извѣстно, что въ ихъ секретѣ въ значительной степени преобладаютъ соли натрія, а именно хлористый натрій, что касается до остальныхъ солей: хлористаго калія, углекислыхъ и фосфорнокислыхъ кальція и магнія, то онѣ совершенно отступаютъ на задній планъ [1]), да кромѣ того и сами по себѣ соли эти принадлежатъ къ слабымъ возбудителямъ электромоторной силы, такъ какъ входящіе въ составъ ихъ положительный и отрицательный іоны обладаютъ почти одинаковой скоростью (см. таблицу на стр. 45). Такимъ образомъ направленіе могущей развиться здѣсь электромоторной силы почти всецѣло будетъ зависѣть отъ хлористаго натрія, который обладаетъ положительнымъ іономъ (Na), двигающимся въ $1^1/_2$ раза медленнѣе, чѣмъ отрицательный (Cl), почему и направленіе развивающагося при его диффузіи электрическаго тока будетъ противоположно направленію диффузіи. А такъ какъ диффузія эта, какъ мы видѣли, совершается въ железѣ по направленію извнутри къ выводному протоку, то электрическій токъ долженъ имѣть обрат-

[1]) Напримѣръ, Гертеръ, производя анализъ воды отъ секрета подчелюстной железы собаки нашелъ въ ней: сѣрнокислаго калія 0,21%, хлористаго натрія 1,55%, углекислаго натрія 0,9%, углекислаго и фосфорнокислаго кальція 0,16%. Зола отъ секрета поджелудочной железы по анализу К. Шмидта содержала хлористаго натра 7,35%, хлор. калія 0,2%, фосфорнокислыхъ земель 0,85%. (См. Руков. къ физіол. Германа, Т. V, ч. 2 (1), стр. 19 и 256).

ное направленіе, т. е. отъ шейки внутрь (входящій токъ), что и есть на самомъ дѣлѣ. Въ томъ же направленіи должны вліять здѣсь на паденіе потенціала и іоны OH, присутствію которыхъ обязана своимъ происхожденіемъ щелочная реакція разсматриваемыхъ железъ.

Такимъ образомъ, въ отношеніи слизистыхъ железъ направленіе тока, вытекающіе изъ теоріи, согласно съ дѣйствительностью. Остается разсмотрѣть съ точки зрѣнія диффузіонной теоріи тѣ измѣненія электродвигательной силы, которыя наблюдаются на токахъ этихъ железъ подъ вліяніемъ различныхъ моментовъ.

Этимъ вопросомъ занимались почти всѣ электрофизіологи, такъ что имѣющійся готовый матеріалъ очень обширенъ. Но изъ всѣхъ данныхъ для насъ имѣютъ особо важное значеніе тѣ, которыя относятся къ измѣненію тока при условіяхъ, вліяющихъ на величину диффузіи солей изъ глубины железы на поверхность, т. е. на отношеніе концентрацій солей въ глубинѣ железы и на поверхности кожи и слизистыхъ оболочекъ.

Измѣнять концентрацію чистаго секрета, находящагося внутри железы, мы не можемъ, но зато легко можемъ сдѣлать это по отношенію къ разрѣженной жидкости, находящейся на поверхности; и на этотъ счетъ мы имѣемъ обильный матеріалъ почти у всѣхъ авторовъ, занимавшихся вопросомъ о токахъ кожи и слизистыхъ оболочекъ, хотя ему и не придавалось такого важнаго значенія, какое онъ заслуживаетъ, и какое имѣетъ въ особенности для нашей точки зрѣнія. Уже Дю-Буа Реймонъ [1]) замѣтилъ, что при отведеніи въ гальванометръ двухъ совершенно индифферентныхъ точекъ кожи лягушки токъ получается въ томъ случаѣ, если оба электрода накладываются неодновременно, причемъ направленіе тока будетъ отъ послѣ наложеннаго электрода къ раньше наложенному. Объясняетъ онъ это явленіе тѣмъ, что всякое мѣсто на кожѣ лягушки обладаетъ электромоторной силой въ направленіи отъ электрода въ глубину. Если же при отведеніи въ гальванометръ тока нѣтъ, то это указываетъ только на то, что паденіе потенціала у обоихъ электродовъ одинаково, но прикосновеніе солевого раствора (которымъ пропитаны электроды) ослабляетъ причину, производящую эту силу. Поэтому, при неодновременномъ прикосновеніи электродовъ, на томъ мѣстѣ, гдѣ прикосновеніе произошло позже, и обнаруживается (входящій) токъ, который держится до тѣхъ поръ, пока разница электроморныхъ силъ на обоихъ мѣстахъ опять сравняется. Точно такъ же Дю-Буа Реймонъ нашелъ, что и на вырѣзанныхъ кускахъ кожи электромоторная сила входящаго тока падаетъ при смачиваніи наружной поверхности растворомъ поваренной соли.

Энгельманъ, много работавшій надъ этимъ вопросомъ, нашелъ, что вообще кожный токъ лягушки тѣмъ слабѣе, чѣмъ суше эпидермисъ: при смачиваніи слабымъ растворомъ NaCl (0,2%) токъ усиливается, но сильнѣе всего дѣйствуетъ чистая вода. Послѣ погруженія въ воду сила тока получается наибольшая; если же, обмывши кожу въ водѣ, начать смачивать ее даже слабыми растворами хлористаго натрія, то сила тока немедленно падаетъ; особенно энергично дѣйствуютъ болѣе крѣпкіе растворы (0,4%—0,8%) [1]). То же самое слѣдуетъ сказать и относительно токовъ слизистыхъ оболочекъ. Бидерманъ на языкѣ лягушки могъ много разъ вызывать колебанія силы тока то въ ту, то въ другую сторону, примѣняя растворы Na Cl различной концентраціи. Если, напримѣръ, препаратъ вырѣзаннаго языка находился нѣкоторое время въ физіологическомъ растворѣ поваренной соли (0,6%), а затѣмъ погружался въ болѣе слабый растворъ (0,2%), то немедленно замѣчалось увеличеніе силы тока [2]), наибольшее же увеличеніе наблюдалось при смачиваніи колодезной или дистиллированной водой; наоборотъ, при смачиваніи болѣе концентрированными растворами Na Cl (0,8%—1%) замѣчалось паденіе силы тока, который при еще большей кон-

[1]) Untersuch. u. s. w. Bd. II (2), S. 21.

[1]) Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 6., S. 110 ff.

[2]) Biederm. Elektrophysiol. I, S. 401. При этихъ опытахъ токъ отводился отъ поверхности языка и обнаженной поверхности неповрежденной мышцы (см. ниже, стр. 259, прим.).

центраціи (1,5—2%) доходилъ до нуля и даже мѣнялъ направленіе, т. е. дѣлался выходящимъ (aussteigende Strom). «Погружая препаратъ послѣдовательно въ 1% и въ 2% растворы, можно было нѣсколько разъ дѣлать токъ то входящимъ, то выходящимъ» [1]).

Вслѣдствіе этого всѣ авторы приписывали весьма важное значеніе, для обнаруженія электромоторной дѣятельности кожи и слизистыхъ оболочекъ, условіямъ, вліяющимъ на содержаніе въ нихъ воды, хотя дать раціональное объясненіе найденнымъ фактамъ и не могли, такъ какъ нѣкоторые изъ нихъ прямо противорѣчили повседневной физіологической практикѣ, какъ, напримѣръ, то обстоятельство, что физіологическій растворъ при нѣкоторыхъ условіяхъ дѣйствуетъ подавляющимъ образомъ на электромоторную дѣятельность железъ, а дистиллированная вода усиливаетъ ее.

Между тѣмъ, съ точки зрѣнія диффузіонной теоріи все это становится совершенно понятнымъ. Въ самомъ дѣлѣ, предполагая, что причина электромоторной дѣятельности кожи и слизистыхъ оболочекъ заключается въ диффузіи солей, а именно, главнымъ образомъ, хлористаго натрія изъ концентрированнаго секрета на днѣ железы въ разрѣженную жидкость, находящуюся на поверхности, необходимо допустить, что всякое увеличеніе процентнаго содержанія хлористаго натрія въ этой послѣдней, вызоветъ уменьшеніе диффузіи, а слѣдовательно, и силы тока, которая вообще тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше разница въ концентраціи двухъ растворовъ; наоборотъ, уменьшеніе концентраціи верхняго слоя должно содѣйствовать усиленію диффузіи, а вмѣстѣ съ тѣмъ и силы тока. Приведенныя выше опытныя данныя подтверждаютъ, что это такъ и есть въ дѣйствительности. Въ опытахъ Бидермана, при примѣненіи болѣе концентрированныхъ растворовъ получалось извращеніе направленія тока; несомнѣнно, слѣдовательно, что здѣсь и диффузія хлористаго натрія происходила въ противуположномъ направленіи, т. е. не изъ глубины железы на поверхность, а наоборотъ съ поверхности, покрытой болѣе концентрирован-

[1]) Loco cit. S. 402.

нымъ растворомъ, въ глубину железы, гдѣ концентрація была меньше. Такимъ же образомъ, если наружную поверхность кожи обмыть чистой водой, то сила тока достигаетъ наибольшей величины,—смачиваніе ее растворомъ хлористаго натрія, даже слабымъ, вызоветъ при этихъ условіяхъ уменьшеніе тока.

Спрашивается теперь, какъ измѣнится электромоторная сила тока, если кожу послѣ воды смочить не NaCl, а растворомъ другого электролита, положительный іонъ котораго движется скорѣе отрицательнаго, напр. слабымъ растворомъ какой-нибудь кислоты, или уксуснокислаго калія и т. п? Электрическій токъ при диффузіи такого электролита будетъ имѣть то же направленіе, въ какомъ совершается диффузія, тогда какъ въ случаѣ хлористаго натрія направленіе диффузіи и электродвигательной силы противоположны. Очевидно, что при такомъ положеніи дѣла и результатъ долженъ получиться обратный тому, который имѣетъ мѣсто при примѣненіи раствора хлористаго натрія. Въ самомъ дѣлѣ, послѣ смачиванія поверхности, напр. слабымъ растворомъ соляной кислоты, послѣдняя начнетъ диффундировать въ глубину железъ, вслѣдствіе чего разовьется извѣстная электромоторная сила въ томъ же направленіи, т. е. появится входящій токъ, который, суммируясь съ преждесуществовавшимъ тоже входящимъ кожнымъ токомъ, будетъ усиливать его.

Все это можно подтвердить простымъ опытомъ. Беремъ стеклянную трубочку 4—5 сантиметровъ длины и сантиметра 1½ ширины, которую продѣваемъ сквозь круглое отверстіе, сдѣланное въ пробковой дощечкѣ такъ, чтобы трубочка совершенно плотно входила однимъ концомъ въ это отверстіе, не выдвигаясь съ другой стороны надъ поверхностью дощечки, которая такимъ образомъ служитъ для нея какъ бы подставкой; сверху для плотности трубочка примазывается еще кругомъ на дощечкѣ мендельевской замазкой. Послѣ этого вырѣзаемъ кусокъ лягушечьей кожи сантиметровъ 20 въ квадратѣ, лучше всего изъ спины, и растягиваемъ его на нижней сторонѣ пробковой подставки такимъ образомъ, чтобы онъ, закрывая отверстіе дощечки и нижній конецъ стеклянной трубочки, былъ обращенъ къ дощечкѣ, а слѣдовательно, и внутрь трубочки, наружной,

покрытой железами поверхностью. Приложенный кусокъ кожи фиксируется въ такомъ положеніи пробковымъ же кружкомъ, съ отверстіемъ посрединѣ, соотвѣтствующимъ нижнему концу трубочки, прижимая имъ кожу къ дощечкѣ настолько плотно, чтобы потомъ въ трубку можно было налить воды и она не вытекала. Послѣ этого, укрѣпляемъ весь приборчикъ на нѣкоторой высотѣ на штативѣ, наливаемъ въ трубочку воды, а затѣмъ, посредствомъ двухъ глиняныхъ неполяризующихся электродовъ отводимъ въ гальванометръ кожный токъ, причемъ одинъ электродъ долженъ касаться поверхности воды, налитой въ трубку, а другой—приложенъ снизу къ нижней (внутренней) поверхности кожи, остающейся незакрытой на мѣстѣ отверстія въ прижимающемъ ее къ дощечкѣ кружкѣ. Послѣ компенсаціи отведеннаго такимъ образомъ кожнаго тока, начинаемъ подливать по каплямъ въ трубочку 10—20% растворъ хлористаго натрія, слегка размѣшивая его концомъ пипетки; тогда электромоторная сила тока начинаетъ немедленно падать и, дойдя до нуля, можетъ обусловить извращеніе тока, причемъ токъ изъ входящаго (верхній, прикасающійся къ водѣ электродъ — отрицателенъ) можетъ сдѣлаться выходящимъ. Стоитъ теперь, надобравши часть жидкости пипеткой, замѣнить ее чистой водой, какъ сила нормальнаго входящаго тока начнетъ опять увеличиваться. Если вмѣсто хлористаго натрія брать растворъ кислоты или, напр., уксуснокислаго калія, у которыхъ положительный іонъ движется скорѣе отрицательнаго, то при его прибавленіи сила тока будетъ измѣняться въ обратномъ направленіи. (При кислотѣ, впрочемъ, могутъ происходить болѣе неправильныя колебанія тока, въ зависимости отъ раздражающаго дѣйствія ея на кожу).

Такимъ образомъ, вліяніе, какое оказываетъ на силу кожнаго тока присутствіе въ смачивающей жидкости того или другого электролита, существеннымъ образомъ зависитъ отъ того, какіе іоны доставляетъ этотъ электролитъ. То же самое, конечно, должно относиться и къ составу секрета внутри железы. Предположимъ, что мы имѣемъ дѣло съ железой, въ секретѣ которой главная составная часть будетъ не хлористый натрій, а какой-нибудь электролитъ, положительный іонъ котораго движется скорѣе отрицательнаго, напр. HCl. Здѣсь точно такъ же соляная кислота будетъ диффундировать изъ глубины железы въ поверхностные слои, но развивающійся при этомъ электрическій токъ будетъ идти не въ противоположномъ ей направленіи, какъ при NaCl, а въ томъ, въ которомъ совершается диффузія, т. е. получится *выходящій* токъ.

Для насъ было бы весьма важно доказать, что выходящій токъ железъ съ кислой реакціей секрета существуетъ въ дѣйствительности. Но опытное доказательство этого вопроса въ высшей степени усложняется тѣмъ обстоятельствомъ, что хотя и есть железы, выдѣляющія несомнѣнно кислый секретъ, напр. пепсиновыя, но онѣ нигдѣ не находятся изолированными, будучи всегда тѣсно перемѣшаны съ обыкновенными слизистыми железами, секретъ которыхъ щелочной. Однако факты, подтверждающіе нашу теорію, существуютъ. Уже Германъ указывалъ на возможность противоположной электроморторной дѣятельности кислыхъ и щелочныхъ железъ. Работая надъ вліяніемъ на кожные токи лягушки раздраженія идущихъ къ кожѣ нервовъ, въ рядѣ опытовъ онъ находилъ, что въ то время, какъ раздраженіе нервовъ вызывало на кожѣ спины положительное колебаніе, т. е. усиленіе существовавшаго входящаго тока, на нѣкоторыхъ участкахъ (боковыя части спины, отдѣльные участки на бедрахъ) замѣчались колебанія двойственнаго характера, причемъ обыкновенно сначала получалось болѣе или менѣе ясно выраженное ослабленіе тока, за которымъ слѣдовало усиленіе, въ рѣдкихъ случаяхъ положительная фаза предшествовала отрицательной, иногда одна смѣняла другую по нѣсколько разъ. Такимъ образомъ дѣло происходило такъ, какъ будто къ существовавшему входящему току присоединялся новый, но въ противоположномъ направленіи, т. е. выходящій токъ. Изслѣдуя это явленіе дальше, Германъ могъ убѣдиться, что въ то время, какъ реакція кожнаго отдѣленія лягушки почти вездѣ имѣетъ ясную щелочную реакцію, на вышеупомянутыхъ мѣстахъ, дававшихъ отрицательное колебаніе тока, реакція была кислая или амфихроматическая. Кислая реакція по Герману принадлежитъ отдѣляемому такъ называемыхъ зернистыхъ железъ, которыя разбросаны въ разныхъ мѣстахъ на кожѣ лягушки.

БІБЛІОТЕКА
Харківського Медичн. Інституту
№

между обыкновенными слизистыми железами, но въ особенно большемъ количествѣ на вышеназванныхъ мѣстахъ. На основаніи этого Германъ высказалъ предположеніе, что дѣятельность кожныхъ железъ со щелочнымъ секретомъ сопровождается входящимъ токомъ, а съ кислымъ — выходящимъ; такъ какъ послѣднія имѣются на кожѣ лягушки только въ небольшомъ числѣ, будучи перемѣшаны вмѣстѣ съ первыми, которыя преобладаютъ, то при покойномъ состояніи на кожѣ вездѣ существуетъ болѣе или менѣе сильный входящій токъ, при раздраженіи же секреторныхъ нервовъ происходятъ колебанія тока съ преобладаніемъ той или другой фазы, въ зависимости отъ соотношенія между дѣятельностью тѣхъ и другихъ железъ [1]).

Такое предположеніе о двойномъ колебаніи кожнаго тока лягушки, какъ результатѣ противоположной электромоторной дѣятельности железъ со щелочнымъ и кислымъ секретомъ, вполнѣ совпадаетъ съ нашей теоріей и могло бы служить надежнымъ ея подтвержденіемъ, если бы оно было установлено съ несомнѣнностью. Къ сожалѣнію, однако, это только весьма вѣроятная гипотеза, такъ какъ невозможно доказать ее неопровержимо по двумъ причинамъ: во-первыхъ—потому, что на кожѣ лягушки нѣтъ такого мѣста, гдѣ можно было бы имѣть дѣло только съ кислыми, или только со щелочными железами, а во-вторыхъ, главнымъ образомъ—потому, что двойное колебаніе тока при раздраженіи нервовъ получается также на такихъ мѣстахъ, гдѣ существуютъ железы одного только рода, напр. на слизистой оболочкѣ рта лягушки, железы которой даютъ только щелочный секретъ, далѣе то же явленіе наблюдается на слюнныхъ железахъ млекопитающихся. Такимъ образомъ, двойственное колебаніе тока дѣйствія железъ вообще должно имѣть иную причину (о которой будетъ рѣчь ниже), что же касается въ частности двойного колебанія кожныхъ токовъ лягушки, то съ большой вѣроятностью можно приписать участіе въ этомъ явленіи и противоположной дѣятельности кислыхъ и щелочныхъ железъ, перемѣшанныхъ между собою на ея поверхности, такъ какъ невозможно допустить,

[1]) Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 17, S. 309.

чтобы найденное Германомъ совпаденіе между реакціей секрета и преобладаніемъ той или другой фазы колебанія тока дѣйствія было простой случайностью.

Болѣе опредѣленныя заключенія можно сдѣлать относительно выходящаго тока на пепсиновыхъ железахъ желудка, такъ какъ хотя послѣднія тоже перемѣшаны съ обыкновенными слизистыми железами, но при нѣкоторыхъ условіяхъ, какъ напр., во время пищеваренія, ихъ дѣятельность усиливается по преимуществу, такъ что измѣненія силы тока въ эти моменты должны быть приписаны именно ихъ вліянію.

Уже Розенталь нашелъ, что если вскрыть въ обыкновенное время желудокъ лягушки, и затѣмъ отвести токъ отъ слизистой оболочки и наружной поверхности желудка, то получается обычный входящій токъ (слизистая оболочка—), свойственный также слизистой оболочкѣ кишекъ, клоаки и проч. Такой же сильный входящій токъ былъ доказанъ впослѣдствіи и на желудкѣ многихъ млекопитающихъ. Это направленіе тока вполнѣ понятно. Дѣло въ томъ, что при покойномъ состояніи желудка отдѣляемое его представляетъ чистую слизь; какъ показалъ проф. И. П. Павловъ, при этихъ условіяхъ обычные раздражители, какъ напр., механическіе инсульты, дѣйствующіе на слизистую оболочку, тоже вызываютъ, въ лучшемъ случаѣ, только скудное отдѣленіе слизи, для того же, чтобы вызвать отдѣленіе желудочнаго сока, т. е. привесть въ дѣятельное состояніе занимающія насъ железы съ содержащимъ солянную кислоту секретомъ, необходимо было-бы накормить животное и производить изслѣдованіе во время пищеваренія, или нужны специфическіе раздраженія,—химическіе, какъ напр., растворъ пептона, или раздраженіе спеціальныхъ секреторныхъ нервовъ.

Такимъ образомъ, слѣдуетъ думать, что входящій токъ, который обыкновенно наблюдается на слизистой оболочкѣ желудка, обязанъ своимъ происхожденіемъ дѣятельности слизистыхъ железъ со щелочнымъ секретомъ. Что же касается до электромоторной дѣятельности собственно пищеварительныхъ железъ, продуцирующихъ кислоту, то согласно изложенному выше она должна дать начало электрическому току въ

противоположномъ — выходящемъ направленіи. Отсюда вытекаетъ, что при пищеваренін сила обыкновенно наблюдаемаго желудочнаго тока должна падать, или даже при этомъ можно ожидать полнаго извращенія направленія входящаго тока и замѣны его выходящимъ.

Дѣйствительно, всѣ имѣющіеся на этотъ счетъ въ нашемъ распоряженіи факты вполнѣ подтверждаютъ этотъ теоретическій выводъ. Такъ Боленъ [1]), работавшій подъ руководствомъ Бидермана надъ вліяніемъ дѣятельности на токъ желудка лягушки, нашелъ, что токъ у накормленныхъ животныхъ гораздо слабѣе, чѣмъ бываетъ обыкновенно. Только въ тѣхъ случаяхъ, когда въ желудокъ были введены непереваримыя вещества, какъ песокъ и тому подобныя вещества, вызывавшія только путемъ механическаго раздраженія отдѣленіе слизи, замѣчалось усиленіе входящаго тока; особенно рѣзко дѣйствовало въ этомъ отношеніи введеніе въ желудокъ bismuthi subnitrici, который вызываетъ своими острогранными кристаллами раздраженіе слизистой оболочки всего пищеварительнаго тракта съ выдѣленіемъ большого количества слизи и значительнымъ усиленіемъ входящаго тока. Но самымъ вѣскимъ аргументомъ въ пользу защищаемой нами теоріи можно привесть результаты опытовъ того же Болена надъ вліяніемъ на входящій токъ покойнаго желудка раздраженія блуждающаго нерва у теплокровныхъ животныхъ. Въ то время какъ у лягушки эффектъ раздраженія обнаруживается только въ слабомъ усиленіи входящаго тока, у млекопитающихъ, вслѣдъ за этимъ кратковременнымъ подъемомъ [2]), происходитъ постоянно такое сильное паденіе силы входящаго тока, что токъ можетъ не только дойти до нуля, но даже извратиться, причемъ сила появившагося теперь выходящаго тока не рѣдко достигаетъ величины первоначальнаго входящаго тока. Такъ какъ мы знаемъ въ настоящее время, что блуждающій нервъ у млекопитающихъ заключаетъ въ себѣ секретные нервы для

[1]) F. Bohlen. Ueber die elektromotorischen Wirkungen der Magenschleimhaut. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 57, SS. 97—122.

[2]) Этотъ подъемъ слѣдуетъ приписать скорѣе всего тому обстоятельству, что блуждающій нервъ можетъ дѣйствовать и на связь отдѣляющихъ железы желудка, или непосредственно, или посредствомъ усиленнаго прилива крови.

пищеварительныхъ железъ желудка, то несомнѣнно, что при описанной постановкѣ опыта Боленъ наблюдалъ не что иное, какъ результатъ электромоторной дѣятельности этихъ железъ [1]).

Разсмотрѣвши вопросъ о томъ, какъ слѣдуетъ смотрѣть, согласно диффузіонной теоріи, на электромоторную дѣятельность кожи лягушки и слизистыхъ оболочекъ въ покойномъ состояніи, необходимо сказать еще нѣсколько словъ о тѣхъ измѣненіяхъ, которыя претерпѣваетъ электродвигательная сила этихъ токовъ при раздраженіи этихъ железистыхъ образованій, какъ непосредственномъ, такъ и при посредствѣ подходящихъ къ нимъ нервовъ.

[1]) Факты, найденные Боленомъ, и такъ легко объясняющіеся съ точки зрѣнія диффузіонной теоріи, были столь неожиданны для Бидермана, что послѣдній счелъ себя вынужденнымъ придумать для нихъ особое объясненіе, а именно, что его мнѣнію, паденіе силы входящаго тока при раздраженіи блуждающихъ нервовъ зависитъ отъ уменьшенія дѣятельности связи образующихъ железъ, вслѣдствіе паденія кровянаго давленія, происходящаго отъ замедленія дѣятельности сердца подъ вліяніемъ раздраженія n. vagi. Собственно же пищеварительныхъ железамъ желудка Бидерманъ приписываетъ едва-ли сколько-нибудь значительное участіе въ производствѣ тока (Op. cit. S. 430). Объясненіе Бидермана тѣмъ болѣе сомнительно, что онъ тутъ же приводитъ опыты съ измѣненіемъ тока во время дыханія, причемъ оказывается, что колебанія давленія крови въ аортѣ при этомъ совершенно не совпадаютъ по времени съ соотвѣтствующими измѣненіями силы электрическаго тока, такъ какъ въ первой стадіи дыханія, когда кровяное давленіе повышено, сила тока падаетъ, точно также сильное повышеніе кровянаго давленія, наступающее вслѣдствіе раздраженія вазомоторнаго центра, вызванному анэміей мозга при зажатіи 4-хъ восходящихъ къ нему артерій (опытъ Сигм. Майера), сопровождалось весьма значительнымъ паденіемъ силы тока, который обыкновенно дѣлался даже выходящимъ, въ то время какъ давленіе крови достигало наибольшей величины. Все это очень просто объяснить, если принять во вниманіе, что какъ дыханіе, такъ и анэмія мозга должны возбуждать также и центръ блуждающаго нерва, вслѣдствіе чего и появляется выходящій токъ. Однако Бидерманъ даетъ совершенно невѣрное объясненіе этого явленія, противорѣчащаго его взгляду, заявляя, что повышеніе давленія въ аортѣ и крупныхъ артеріяхъ должно сопровождаться паденіемъ его въ мелкихъ артеріяхъ и капиллярахъ периферическихъ и внутреннихъ органовъ, въ томъ числѣ и желудка; но такое утвержденіе представляетъ физіологическую и физическую несообразность, такъ какъ хотя повышеніе давленія въ крупныхъ артеріяхъ выравнивается отчасти насильнымъ расширеніемъ мелкихъ артерій и капиллировъ подъ напоромъ кровянаго тока, но никоимъ образомъ не можетъ случиться, чтобы въ тѣхъ и другихъ давленіе было разное.

Первый, кто получилъ опредѣленные результаты о вліяніи раздраженія кожныхъ нервовъ на кожные токи лягушки, былъ Валентинъ, который нашелъ, что въ тѣхъ случаяхъ, когда при раздраженіи подходящихъ къ кожѣ нервовъ получался эффектъ, замѣтный на гальванометрѣ, онъ состоялъ въ томъ, что прежде бывшее отклоненіе стрѣлки уменьшалось, слѣдовательно сила тока падала. Такой результатъ легко могъ быть истолкованъ съ точки зрѣнія господствовавшей тогда молекулярной теоріи Дю-Буа Реймона, какъ «отрицательное колебаніе» существующаго тока покоя.

Дальнѣйшія болѣе подробныя изслѣдованія, которыя принадлежатъ Реберу, показали, что въ значительномъ большинствѣ случаевъ результатомъ раздраженія является, дѣйствительно, уменьшеніе электромоторной силы, т. е. отрицательное колебаніе тока; но въ нѣкоторыхъ случаяхъ получалось не отрицательное, а положительное колебаніе, т. е. усиленіе прежде бывшаго тока, — это случалось тогда, когда первоначальная сила тока была мала, если же токъ покоя былъ сколько-нибудь значительный, то всегда получалось отрицательное колебаніе. Иногда результатомъ раздраженія является колебаніе двойственнаго характера, причемъ одна фаза смѣняетъ другую, чередуясь по временамъ нѣсколько разъ. Но преобладающее значеніе при опытахъ Ребера во всѣхъ случаяхъ принадлежало отрицательному колебанію, которое Реберъ и считаетъ за истинный эффектъ раздраженія, а положительному колебанію придаетъ несущественное значеніе [1]). Точно также и Энгельманъ считаетъ отрицательное колебаніе главнымъ и почти всегдашнимъ результатомъ раздраженія кожи и нервовъ. Иначе представляется дѣло по изслѣдованіямъ Германа [2]). Въ своихъ опытахъ, которые онъ производилъ надъ кожей, снятой со спины, а также съ бедеръ лягушки, онъ получалъ въ большинствѣ случаевъ результаты, обратные найденнымъ предшествовавшими авторами, т. е. положительное колебаніе тока; только въ нѣкоторыхъ случаяхъ

[1]) Вартановъ. Op. cit., стр. 9.
[2]) Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 17.

усиленію тока предшествовала болѣе или менѣе ясно выраженная отрицательная фаза [1]).

Результаты Германа, противорѣчащіе найденнымъ раньше фактамъ, заставили обратить на этотъ вопросъ болѣе серьез-

[1]) Мы уже видѣли выше, какое объясненіе далъ первоначально Германъ этому явленію. Въ настоящее время (Arch. f. d. ges. Phys. Bd. Bd. 27 и 58) онъ выставляетъ другое объясненіе, въ основаніе котораго кладетъ наблюденія, сдѣланныя имъ надъ кожей рыбъ, на которой до тѣхъ поръ не удавалось доказать электрическихъ токовъ, что объяснялось отсутствіемъ въ ней железъ. Германъ показалъ, что это невѣрно, и что кожный токъ рыбъ можетъ быть обнаруженъ, если отводимый участокъ у одного изъ электродовъ пряжечь растворомъ NO_3Ag и тѣмъ умертвить покрывающій его эпителій,—тогда неповрежденный участокъ обнаруживаетъ входящій токъ, проявленію котораго до сихъ поръ мѣшалъ противоположный токъ у другого электрода. Опираясь на это, Германъ доказываетъ, что кожный эпителій лягушки тоже долженъ самъ по себѣ, помимо присутствія железъ, обладать электродвигательной силой, направленной снаружи внутрь. При покойномъ состояніи железы, просвѣтъ которыхъ въ это время закрытъ, почти не проявляютъ своего дѣйствія наружу, и могутъ обнаружиться при этихъ условіяхъ паденіе потенціала обязано исключительно электромоторной дѣятельности кожнаго эпителія; когда же въ моментъ раздраженія изъ железы выжимается часть имѣющаго секретъ,—устанавливается отведеніе входящаго тока отъ собственно железистаго эпителія. При такихъ условіяхъ эффектъ раздраженія будетъ зависѣть отъ отношенія между величиной электромоторной силы кожнаго и собственно железистаго эпителія. Если вторая меньше первой, то, примѣнивая свое дѣйствіе къ дѣйствію первой, она вызоветъ уменьшеніе первоначальнаго тока, т. е. отрицательное колебаніе, въ противномъ же случаѣ получится положительное колебаніе. Хотя эта вторая гипотеза Германа болѣе универсальна, чѣмъ первая, такъ какъ можетъ быть приложена какъ къ кожнымъ токамъ, такъ и къ токамъ слизистыхъ оболочекъ вообще, но она, однако, не выдерживаетъ серьезной критики ни съ физической, ни съ физіологической точки зрѣнія, во-первыхъ—потому, что и въ покойномъ состояніи продолжается дѣятельность кожныхъ железъ и выдѣленіе секрета, такъ что хотя ихъ просвѣтъ и суженъ (nabezu abgeschlossen), но онъ не совсѣмъ закрытъ, и связь между содержащимся внутри железы секретомъ и жидкостью, смачивающей поверхность кожи, не прервана, а во-вторыхъ, уподобленіе эпителія кожи лягушки кожному покрову рыбъ не правильно, такъ какъ въ настоящее время доказано, что хотя послѣдній и не содержитъ настоящихъ слизистыхъ железъ, но отдѣльныя клѣтки его представляютъ не что иное, какъ перерожденныя слизистыя клѣтки, аналогичныя бокаловиднымъ клѣткамъ кишечнаго канала, такъ что у нѣкоторыхъ рыбъ вся поверхность кожи можетъ быть разсматриваема, какъ сплошная колоссальная слизистая железа (Op. Biderm. Elektrophys. I, S. 407), между тѣмъ какъ клѣтки, покрывающія кожу лягушки, представляютъ типичные элементы покровнаго эпителія съ признаками ороговѣнія, но отнюдь не слизистаго метаморфоза, и совершенно непонятно, какимъ образомъ могутъ появляться электрическіе токи при ихъ нѣлости.

ное вниманіе, и въ настоящее время, благодаря работамъ многихъ послѣдователей, какъ Бидерманъ (токи слизистыхъ оболочекъ), Вартановъ (кожные токи лягушки) и др., главнѣйшія данныя по этому вопросу можно считать установленными окончательно. Въ общемъ подтвердились выводы найденными раньше Рёберомъ и Энгельманомъ, а именно: 1) раздраженіе кожи или слизистой оболочки, непосредственное или посредствомъ подходящихъ къ нимъ нервовъ, сопровождается въ громадномъ большинствѣ случаевъ ослабленіемъ существующаго тока, 2) иногда вмѣсто ослабленія происходитъ усиленіе его,— это бываетъ почти исключительно въ тѣхъ только случаяхъ, когда существующій сначала токъ слабъ; 3) иногда замѣчается чередованіе положительныхъ и отрицательныхъ фазъ, причемъ одна можетъ предшествовать другой въ видѣ короткаго предудара; 4) при прочихъ равныхъ условіяхъ отрицательное колебаніе выражено бываетъ тѣмъ яснѣе, чѣмъ сильнѣе раздраженіе [1]).

Иногда, какъ упоминалось выше, эффектомъ раздраженія является извращеніе тока, но это, конечно, отнюдь не слѣдуетъ понимать въ томъ смыслѣ, что железы начинаютъ развивать токъ въ обратномъ направленіи, а—въ томъ, что вслѣдствіе неравномѣрнаго проявленія раздраженія въ области того и другого отводящаго электрода, входящій токъ въ области одного изъ нихъ ослабѣлъ настолько, что оказался пересиленнымъ такимъ же входящимъ токомъ, существующимъ у другого электрода. Такимъ образомъ извращенія тока никогда нельзя получить при такой постановкѣ опыта, когда раздраженіе ограничивается исключительно областью одного электрода, а другой при этомъ приложенъ къ *совершенно индифферентной точкѣ* [1]).

Такимъ образомъ, вопросъ о колебаніяхъ тока железъ при раздраженіи представляется очень запутаннымъ: колебаніе тока, во всякомъ случаѣ, можетъ быть и въ ту, и въ другую сторону, въ зависимости отъ обстоятельствъ. Трудность вопроса усиливалась еще тѣмъ обстоятельствомъ, что до послѣдняго времени вопросъ объ иннерваціи железъ представлялъ почти полную terra incognita. Этимъ объясняется то, что большинство авторовъ, писавшихъ по этому вопросу, предпочитало искать объясненія запутаннаго и двойственнаго характера токовъ дѣятельности железъ въ разныхъ гипотезахъ, маловѣроятность которыхъ часто прямо бросается въ глаза.

Въ настоящее время, когда съ несомнѣнностью установленъ тотъ фактъ, что эффектъ раздраженія железы черезъ нервъ (а быть можетъ и при непосредственномъ приложеніи раздражителя) всегда слагается, по крайней мѣрѣ, изъ двухъ компонентовъ: усиливающаго и задерживающаго, причемъ конечный резуль-

[1]) Biedermann. Elektrophysiol. I, SS. 417, 436. Вартановъ. Op. cit., стр. 167.

Такимъ образомъ Германъ оказался неправъ. Противорѣчащіе результаты, найденные имъ, могутъ быть объяснены отчасти тѣмъ, что онъ производилъ свои наблюденія исключительно надъ зимними лягушками, которыя вообще даютъ слабые токи (при которыхъ и Рёберъ получалъ положительное, а не отрицательное колебаніе), а отчасти тѣмъ, что даже въ научныхъ экспериментахъ часто каждый видитъ то, что ему хочется увидѣть. Германъ же какъ разъ въ это время велъ полемику съ Дю-Буа Реймономъ о причинѣ возникновенія восходящаго тока руки у человѣка при напряженіи, причемъ доказывалъ, что этотъ токъ происходитъ не отъ сокращенія мышцъ, а отъ усиленной дѣятельности потовыхъ железъ, въ доказательство чего онъ производилъ рядъ опытовъ на кошкахъ, причемъ раздраженіе сѣдалищнаго нерва сопровождалось потяніемъ соотвѣтствующей лапки, въ которой въ то же время появляется входящій токъ (см. объ этомъ ниже). Но если бы усиленіе восходящаго тока въ лапкахъ кошки или въ рукѣ человѣка и зависѣло исключительно отъ возбужденія секреторныхъ нервовъ, то это нисколько не противорѣчило бы результатамъ Рёбера на лягушкахъ, такъ какъ секреторный токъ лапокъ кошки или руки въ покойномъ состояніи, если и существуетъ, то очень слабъ, а слѣдовательно, и по Реберу слѣдуетъ ожидать положительнаго колебанія его при раздраженіи.

[1]) Бидерманъ утверждаетъ, что ему приходилось наблюдать на языкѣ лягушки такое сильное отрицательное колебаніе, что нормальный входящій токъ очень быстро падалъ до нуля, и затѣмъ становился выходящимъ. Но считать это явленіе, какъ дѣлаетъ Бидерманъ, за доказательство возможности извращенія тока, мы не имѣемъ никакого права. Дѣло, въ томъ, что при этомъ опытѣ одинъ отводящій электродъ ставится на языкъ, а другой прикладывается къ осторожно обнаженной мышцѣ, которая почитается индифферентной. Понятно, что достаточно малѣйшаго insulta, или просто высыханія, чтобы эта индифферентность исчезла, и на мѣстѣ приложенія электрода къ мышцѣ появился входящій токъ, который по отношенію къ другому электроду, приложенному къ слизистой оболочкѣ языка, будетъ выходящимъ, и который немедленно обнаружится въ гальванометрѣ, какъ только нормальный входящій токъ слизистой оболочки, вслѣдствіе отрицательнаго колебанія, падетъ до 0 или же вообще сдѣлается слабѣе этого мышечнаго тока.

тать зависить всецѣло отъ преобладанія того или другого изъ этихъ вліяній, намъ ближе всего здѣсь и искать причину описанныхъ выше результатовъ раздраженія нервовъ на токи железъ. Мы должны принять, что при всякомъ искусственномъ раздраженіи железы всегда приходятъ въ дѣйствіе не только усиливающіе секрецію нервные волокна или аппараты, но и дѣйствующіе противоположно имъ секреторно задерживающіе приборы: дѣйствіе первыхъ должно выразиться въ гальванометрѣ усиленіемъ существовавшаго раньше покойнаго секреціоннаго тока, дѣйствіе вторыхъ—его ослабленіемъ. Отъ того, какое дѣйствіе окажется сильнѣе, и будетъ зависѣть конечный результатъ,—положительное или отрицательное колебаніе тока [1]).

Въ самомъ дѣлѣ, указанные выше факты, касающіеся отрицательнаго и положительнаго колебанія кожныхъ токовъ, свидѣтельствуютъ, что первое развивается именно въ тѣхъ случаяхъ, когда мы должны ожидать преобладанія тормозящаго эффекта нервовъ, а второе—при обратныхъ условіяхъ, а именно, отрицательное колебаніе обнаруживается тогда, когда сила тока уже достигла значительной величины, тогда какъ при слабыхъ токахъ преобладаетъ положительная фаза; далѣе найдено, что отрицательное колебаніе выступаетъ яснѣе при дѣйствіи болѣе сильныхъ ударовъ индукціонной катушки, причемъ оно сильнѣе отъ размыкательнаго, чѣмъ отъ замыкательнаго удара [2]), а это тоже есть одна изъ особенностей, характерныхъ для задерживающихъ нервныхъ волоконъ. Такимъ образомъ, едва ли можетъ подлежать какому-либо сомнѣнію, что въ своеобразной игрѣ секретарно задерживающихъ и ускоряющихъ аппаратовъ слѣдуетъ видѣть причину тѣхъ измѣнчивыхъ колебаній, которыя обнаруживаетъ электрическій токъ железистыхъ образованій. Быть можетъ, современемъ мы будемъ пользоваться этими, на первый взглядъ часто капризными колебаніями, какъ тончайшимъ указателемъ совершающагося въ железѣ секреціоннаго процесса.

[1]) О томъ, что дѣйствительный эффектъ при раздраженіи кожныхъ нервовъ можетъ зависѣть отъ противоположнаго дѣйствія усиливающихъ секрецію и тормозящихъ нервовъ упоминаетъ вскользь и Германъ (Arch. f. d. des. Physiol. Bd. 17, S. 303). Подобнымъ же образомъ и Бидерманъ (Ibidem, Bd. 54 и Op. cit., S. 432) видитъ причину этой двойственности въ двухъ противоположныхъ процессахъ, совершающихся въ клѣточной протоплазмѣ: ассимиляціи и диссимиляціи (см. выше, стр. 33).

[2]) Engelmann. Arch. f. d. ges. Physiol Bd. 6, S. 137. Cp. Biederm. Op. cit. S. 418.

Послѣ изложенія этого краткаго образа новѣйшихъ данныхъ о токахъ дѣятельности железъ кожи и слизистыхъ оболочекъ лягушки, не трудно ориентироваться среди еще болѣе измѣнчивыхъ явленій, обнаруживающихся на большихъ железахъ млекопитающихъ, а именно—слюнныхъ, которыя почти исключительно и служили объектомъ электрометрическихъ изслѣдованій у крупныхъ животныхъ.

Уже Германъ и Люхсингеръ [1]) производили изслѣдованія надъ электромоторной дѣятельностью этихъ железъ, а въ настоящее время обстоятельные опыты въ этомъ направленіи были произведены Бэйльсомъ и Брэдфоромъ, [2]) экспериментировавшими надъ кошками и собаками, такъ что опытныя данныя этого вопроса можно считать установленными. Эти авторы нашли, что при отведеніи отъ поверхности hilus'а обнаженной подчелюстной и околоушной железы собаки въ покойномъ состояніи получается вообще слабый токъ, и не всегда постояннаго направленія, причемъ, однако, въ значительномъ большинствѣ случаевъ преобладаетъ выходящій токъ, т. е. поверхность является отрицательной по отношенію къ hilus'у. На подчелюстной железѣ кошки направленіе тока оказывается еще болѣе непостояннымъ, но чаще наблюдается выходящее направленіе, т. е. обратное тому, какъ у собаки.

Теперь является вопросъ, какъ объяснить эти факты, такъ какъ, принимая во вниманіе химическій составъ растворенныхъ въ слюнѣ веществъ (преобладаютъ хлористый натрій и кальцій), мы должны ожидать, что секреціонный токъ долженъ имѣть вообще входящее направленіе, какъ у кожныхъ и слизистыхъ железъ лягушки. Я думаю, что подыскать объясненіе этихъ фактовъ не трудно, если принять во вниманіе слѣдующія два обстоятельства:

[1]) Arch f. d. ges. Physiol. Bd. 18.

[2]) W. M. Bayliss und J. R. Bradford. Internat. Monatsschrift für Anat. und Physiol. IV. 3, 4 и J. R. Bradford. Journ. of Physiol. XVI. 1894. p. 360. Цит. по Biederm Op. cit. 434.

во-первыхъ, что при данныхъ условіяхъ опыта приходится наблюдать железу въ поврежденномъ состояніи, причемъ обнаженная ея поверхность, какъ бы ни была осторожно она препарована, представляетъ раневую поверхность, во-вторыхъ, что въ обыкновенномъ состояніи, при отсутствіи раздраженія подходящихъ къ ней нервовъ, железа вообще находится въ полномъ бездѣйствіи, такъ что настоящій секреціонный ея токъ ничтожень или совершенно отсутствуетъ. Имѣя это въ виду, необходимо принять, что обнаруживаемый въ гальванометрѣ токъ представляетъ при этихъ условіяхъ алгебраическую сумму двухъ токовъ: собственно секреціоннаго входящаго (hilus отр.), и другого, происходящаго отъ того, что отводящіе электроды прикладываются къ пораненнымъ частямъ; направленіе этого послѣдняго тока, очевидно, будетъ зависѣть отъ соотношенія между интенсивностью поврежденія на обоихъ отводимыхъ мѣстахъ, но, понятно, что въ большинствѣ случаевъ обнаженная поверхность железы будетъ инсультирована сильнѣе, чѣмъ вдавленный въ глубину hilus: поэтому чаще можно ожидать, что направленіе возникающаго «раневого» тока будетъ выходящее, т. е. противоположное собственно секреціонному. Оба эти тока вообще должны быть слабы, и эффектъ на гальванометрѣ будетъ представлять ихъ алгебраическую сумму, причемъ направленіе результирующаго тока, очевидно, можетъ получиться или въ ту, или другую сторону.

Что касается до токовъ дѣйствія, при раздраженіи подходящихъ къ железѣ нервовъ, то вообще они измѣнчивы и обыкновенно представляютъ нѣсколько фазъ. Замѣчательно, что характеръ преобладающей фазы неодинаковъ, смотря по тому, какой нервъ раздражается, симпатическій или головной. Раздраженіе симпатическаго нерва, сопровождающееся выдѣленіемъ небольшого количества густой и вязкой слюны, вызываетъ усиленіе входящаго тока, тогда какъ раздраженіе барабанной струны сопровождается у собаки выходящимъ токомъ, причемъ выдѣляется большое количество жидкой, водянистой слюны. У кошекъ такой разницы между симпатической и хордальной слюной не наблюдается, сообразно чему и направленіе тока въ обоихъ случаяхъ одинаково. Брэдфоръ подмѣтилъ эту зависимость между свойствами выдѣляемой слюны и направленіемъ тока дѣйствія, но не далъ ему настоящаго объясненія. Между тѣмъ, какъ едва-ли въ этомъ представляется серьезное затрудненіе, принимая во вниманіе все то, что мы знаемъ теперь о свойствахъ симпатической и хордальной слюны. Дѣло въ томъ, что въ настоящее время мы съ величайшей вѣроятностью можемъ предполагать, что свойство хордальной слюны у собаки зависитъ отъ того, что въ этомъ нервѣ проходятъ по преимуществу секреторно задерживающіе нервы, и только небольшое число настоящихъ отдѣлительныхъ волоконъ, а если это такъ, то эффектъ раздраженія этого нерва долженъ необходимо сопровождаться уменьшеніемъ секреціоннаго входящаго тока и усиленіемъ выходящаго, что и есть на самомъ дѣлѣ.

О кожныхъ токахъ млекопитающихъ будетъ сказано въ послѣдней главѣ. Тѣсная зависимость ихъ отъ нервной системы особенно рельефно выступаетъ въ опытахъ проф. И. Р. Тарханова надъ кожными токами человѣка [1]). Достаточно самаго малѣйшаго и мимолетнаго напряженія воли или чувства, малѣйшаго звука, ощущенія и т. п., чтобы вызвать, часто очень значительныя колебанія тока, получающагося при отведеніи отъ какихъ-нибудь двухъ точекъ на поверхность кожи. При этомъ оказывается, что отрицательнымъ становится сначала тотъ электродъ, до котораго, судя по разстоянію, импульсъ изъ центральной главной системы долженъ былъ достигнуть раньше. Болѣе подробныя наслѣдованія надъ характеромъ этого колебанія на человѣкѣ, разумѣется, едва-ли возможны въ настоящее время.

[1]) И. Р. Тархановъ. О гальваническихъ явленіяхъ въ кожѣ человѣка при раздраженіяхъ органовъ чувствъ и различныхъ формахъ психической дѣятельности. Журн. Психіатр. и невропат. 1889. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 46.

Глава X.

Электрическіе органы рыбъ.

Замѣчательная способность нѣкоторыхъ породъ рыбъ производить удары, могущіе оглушать даже крупныхъ животныхъ и людей, извѣстна была уже въ древности, но только въ серединѣ прошлаго столѣтія Адансонъ [1]) (1751) высказалъ мысль о тожественности дѣйствія удара электрическаго ската съ дѣйствіемъ разряда электрической машины; тогда какъ болѣе ранніе изслѣдователи (Борелли, 1685) смотрѣли на него, какъ на механическій эффектъ, являющійся результатомъ ряда быстро-слѣдующихъ другъ за другомъ сокращеній мускулатуры животнаго. Мнѣніе Адансона было вскорѣ подтверждено цѣлымъ рядомъ другихъ изслѣдователей. Особенно много потрудились надъ разработкой этого вопроса въ концѣ прошлаго столѣтія Кавендишъ, а въ началѣ нынѣшняго Фарадей, которыми окончательно былъ рѣшенъ этотъ вопросъ въ утвердительномъ смыслѣ.

Электрическихъ рыбъ извѣстно въ настоящее время около 50 видовъ. Сюда относятся встрѣчающіеся въ Средиземномъ и другихъ моряхъ различные виды электрическаго ската (Torpedo, длиною около 1 метра), а изъ прѣсноводныхъ: электрическій угорь рѣкъ южной Америки (Gymnotus electricus, длин. 2,5 метр.) и электрическій сомъ (Malopterurus electricus), живущій въ Нилѣ и другихъ рѣкахъ Африки. Кромѣ этихъ породъ, электрическими органами обладаютъ также и обыкновенные скаты (Raja), а также Нильская щука (Mormyrus), но только гораздо болѣе слабыми, такъ что только у

[1]) Du Bois Reymond. Ges. Abh. Bd. II. S. 622.

нѣкоторыхъ изъ нихъ удары могутъ быть ощутимы и доказано прямо, безъ помощи гальванометра. Ихъ органы прежде называли, хотя совершенно неправильно, псевдоэлектрическими. Когда было окончательно установлено, что замѣчательная особенность этихъ животныхъ зависитъ отъ способности произвольно продуцировать въ своемъ тѣлѣ значительное количество электрической энергіи, то физіологи съ тѣмъ большимъ интересомъ занялись этимъ вопросомъ, что тогда не умолкли еще отголоски знаменитаго спора между гальванистами и вольтаистами. Очевидно, что фактъ существованія электрическихъ рыбъ давалъ большой шансъ въ руки сторонниковъ животнаго электричества.

Не было недостатка также и въ теоріяхъ для объясненія этой способности. Теоріи эти, какъ и слѣдовало ожидать, измѣнялись сообразно господствовавшимъ взглядамъ на животное электричество вообще, и въ частности на электрическую дѣятельность мышцъ и нервовъ. Это тѣмъ болѣе понятно, что уже первыми изслѣдователями (Франческо Реди, у Torpedo, 1666) было указано на то замѣчательное обстоятельство, что электрическій органъ есть не что иное, какъ метаморфозированная мышца. Въ самомъ дѣлѣ, уже a priori можно было ожидать, что природа, желая снабдить тѣло этихъ животныхъ электрическими батареями, воспользуется для этого матеріаломъ изъ тѣхъ частей организма, которыя и въ другихъ случаяхъ способны проявлять наибольшую электромоторную дѣятельность, т. е. мышцами или железами. Ближайшее изслѣдованіе показываетъ, что какъ первое, такъ и второе, дѣйствительно, имѣетъ мѣсто. На основаніи исторіи развитія можно доказать, что въ то время какъ у Torpedo, Gymnotus, Raja и Mormyrus электрическій органъ произошелъ изъ видоизмѣнившихся и спеціально приспособленныхъ для этой цѣли мускульныхъ элементовъ, у Malopterurus онъ образовался изъ метаморфизированныхъ железъ [1]).

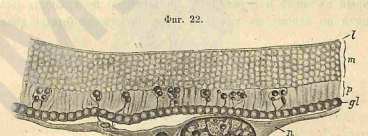
[1]) При послѣдующемъ описаніи устройства электрическихъ органовъ различныхъ рыбъ я пользовался главнымъ образомъ книгой Бидермана: W. Biedermann. Elektrophysiologie. II Abtheil. 1895. SS. 748—842. Большія подробности можно найти у Фритша. G. Fritsch: Die elektrische Fische. I und II Abth. Leipzig. 1887—1890.

У Torpedo, который по формѣ похожъ на громаднаго головастика, электрическій органъ лежитъ симметрично по обѣимъ сторонамъ его круглаго, сплюснутаго по направленіи сверху внизъ тѣла. Онъ находится непосредственно подъ кожей въ видѣ красноватой, просвѣчивающей подобно студеню, массы. При ближайшемъ изученіи оказывается, что весь органъ пронизанъ снизу вверхъ (т. е. по направленіи отъ брюшной къ спинной поверхности) плотными соединительнотканными тяжами, которые раздѣляютъ его, подобно ячейкамъ пчелиныхъ сотъ, на множество вертикально стоящихъ, прилегающихъ другъ къ другу пяти- и шестигранныхъ столбиковъ или трубочекъ, которыя тянутся каждая не прерываясь во всю высоту органа отъ брюшной до спинной его поверхности, такъ что длина ихъ достигаетъ 6—10 ст. Такихъ трубочекъ въ каждомъ органѣ (правомъ и лѣвомъ) у большинства видовъ ската около 400. Если вырѣзать изъ органа тонкій кусочекъ параллельно длинѣ этихъ столбиковъ и, расправивши его въ водѣ, разсматривать при небольшомъ увеличеніи, то оказывается, что въ каждомъ изъ нихъ поперечно къ ихъ просвѣту вставлены на равныхъ разстояніяхъ особыя образованія, которыя называются электрическими пластинками. Образованія эти, располагаясь перпендикулярно къ соединительнымъ перегородкамъ трубочекъ, будутъ такимъ образомъ поставлены параллельно одно надъ другимъ, подобно полкамъ въ шкафу; верхняя ихъ поверхность (обращенная къ спинѣ животнаго) нѣсколько выпукла, а нижняя (обр. къ животу) вогнута. Будучи разсматриваемы съ плоскости, т. е. на горизонтальныхъ разрѣзахъ, они будутъ имѣть видъ болѣе или менѣе правильныхъ 5- или 6-угольниковъ, соотвѣтственно 5 — 6 гранямъ столбиковъ, въ которые они вставлены. Въ каждомъ столбикѣ вставлено среднимъ числомъ 300 — 400 такихъ пластинокъ. Эти то пластинки и являются истинными генераторами электрической энергіи органа. Пластинки отдѣлены одна отъ другой студенистымъ безструктурнымъ веществомъ, которое наполняетъ всѣ призматическія трубочки, и благодаря которому весь электрическій органъ имѣетъ видъ студеня.

При болѣе сильныхъ увеличеніяхъ электрическая пластинка

представляется сложнымъ образованіемъ, въ составъ котораго входятъ разные элементы: сосудъ, нервы, соединительнотканная и, наконецъ, собственно электро-генераторная часть, происшедшая изъ метаморфизированнаго мышечнаго волокна. Верхняя дорзальная поверхность пластинки (фиг. 22) выстлана тонкой безструктурной перепонкой *l*, которая представляетъ, по всей вѣроятности, остатки сарколеммы бывшаго мышечнаго волокна. Непосредственно подъ ней лежитъ слой *m*, происшедшій изъ эмбріональнаго мышечнаго волокна—stratum moleculare (Muskularschicht Фритша); у электрическаго ската его

Фиг. 22.



Поперечный разрѣзъ электрической пластинки ската (Torpedo ocellata) по Фритшу. *l*—дорзальная безструктурная оболочка; *m*—молекулярный слой; *p*—палисадный слой съ нервными окончаніями; *gl*.—зернистый слой; *n*—нервъ.

принадлежность къ мускульному веществу можетъ быть доказана только на основаніи исторіи развитія, тогда какъ у обыкновенныхъ скатовъ, съ менѣе усовершенствованными, такъ называемыми псевдоэлектрическими органами, даже у вполнѣ развившихся экземпляровъ можно доказать его поперечную исчерченность и двоякопреломляемость, свойственную мышечной субстанціи. За этимъ слоемъ слѣдуютъ уже слои соединительнотканнаго характера, заключающіе въ себѣ нервныя окончанія, нервы и сосуды. Непосредственно подъ молекулярнымъ слоемъ лежитъ слой *p*, продольная исчерченность котораго напоминаетъ частоколъ (Palissadensaum), въ немъ заложены нервныя окончанія въ видѣ небольшихъ гроздьевъ. По Иванцову онъ состоитъ изъ отростковъ покрывающей нижнюю

часть пластинки безструктурной оболочки, соотвѣтствующей сарколеммѣ мышечнаго волокна. Подъ Palissadensaum лежитъ такъ называемый зернистый слой (stratum granulosum), тоже соединительнотканнаго характера (Фритшъ). Затѣмъ слѣдуетъ слой, содержащій нервныя волокна и сосуды, и, наконецъ, безструктурная оболочка—сарколемма. Отношеніе нервовъ къ пластинкѣ очень характерно. Нервныя волокна, проходя въ органѣ вмѣстѣ съ сосудами въ соединительнотканной стромѣ, составляющей боковыя стѣнки призматическихъ трубочекъ, въ которыя вставлены пластинки, распадаются на волоконца, которыя въ числѣ 6 переходятъ на нижнюю поверхность пластинки по одному на каждомъ углу; затѣмъ они быстро дѣлясь

Фиг. 23.



Электрическій органъ угря (Gymnotus electricus).

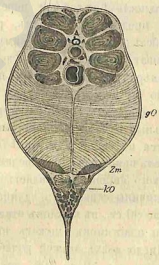
разсыпаются въ сѣть; сначала нервы покрыты мякотными и сильно развитыми соединительнотканными влагалищами, содержащими ядра, затѣмъ теряютъ сначала мякоть, а потомъ и соединительнотканныя оболочки.

Изъ сказаннаго видно, что каждая трубочка представляетъ, такимъ образомъ, родъ вольтова столба или электрической батареи, въ которой элементы соединены послѣдовательно одинъ за другимъ, а весь органъ въ цѣломъ—сложную батарею, въ которой цѣлые ряды послѣдовательно соединенныхъ элементовъ соединены потомъ параллельно.

Органъ электрическаго угря построенъ по тому же самому принципу. Онъ лежитъ по обѣимъ сторонамъ почти во всю длину тѣла животнаго (фиг. 23) и точно также состоитъ изъ соединительнотканныхъ перегородокъ, образующихъ ходы, соотвѣтственно трубочкамъ-ячейкамъ ската, въ которые вставлены перпендикулярно къ ихъ просвѣту электрическія пластинки. Но соединительнотканные тяжи, а слѣдовательно, и

образуемые ими ходы, имѣютъ здѣсь не вертикальное направленіе отъ живота къ спинѣ, какъ у ската, а горизонтальное—вдоль тѣла, спереди назадъ. Соотвѣтственно этому и пластинки обращены своими плоскими поверхностями не вверхъ и внизъ, а впередъ и назадъ. Какъ видно изъ рисунка (фиг. 24), изображающаго поперечный разрѣзъ тѣла угря, тяжи, раздѣляю-

Фиг. 24.



Поперечный разрѣзъ черезъ туловище угря. *gO*—большой органъ; *kO*—малый органъ; *Zm*—промежуточный мускульный слой.

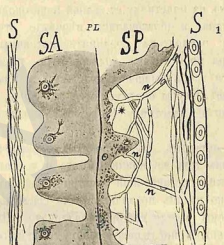
щіе органъ на ходы, представляются въ видѣ широкихъ плоскихъ перегородокъ (Längsscheidewände), натянутыхъ въ горизонтальной плоскости параллельно одна надъ другой и отходящихъ отъ срединной вертикальной перегородки къ наружной поверхности тѣла. Такимъ образомъ здѣсь образуется рядъ широкихъ этажей, расположенныхъ другъ надъ другомъ. Каждый изъ этихъ этажей вполнѣ соотвѣтствуетъ одной призматической трубочкѣ ската, онъ точно такъ же наполненъ студенистымъ безструктурнымъ веществомъ, и въ немъ перпендикулярно стоятъ одна за другой электрическія пластинки. Но

въ то время, какъ у ската внутри трубочекъ-ячеекъ нѣтъ ничего, кромѣ этой студенистой безструктурной массы съ поперечно вставленнымъ въ ней рядомъ пластинокъ, — у гимнота сверхъ того существуетъ между каждыми двумя пластинками соединительнотканная перегородка, поставленная тоже поперечно просвѣту трубочекъ-этажей, а слѣдовательно, въ томъ же положеніи, что и пластинки. Назначеніе ея, очевидно, состоитъ въ томъ, чтобы доставить сосуды и нервы, переходящіе съ нея на заднюю поверхность ближайшей передней пластинки, а также дать опору продольнымъ тяжамъ, разграничивающихъ этажи, такъ какъ безъ этого электрическимъ пластинкамъ пришлось бы выдерживать слишкомъ большую тяжесть, вслѣдствіе значительнаго размѣра просвѣта ходовъ по направленію въ ширину, что могло бы легко вывесть ихъ изъ ихъ отвѣснаго положенія. Такимъ образомъ этими перегородками весь этажъ дѣлится на отдѣльныя камеры или ящички, въ каждомъ изъ которыхъ находится по одной пластинкѣ (PL), положеніе которой соотвѣтствуетъ приблизительно срединѣ ящичка (фиг. 25). Длина каждаго такого ящичка составляетъ около 0,1 mm., такъ что у средней величины животнаго, длина котораго 1 м., а длина органа около 80 ст., въ каждомъ этажѣ число ящичковъ, а слѣдовательно и пластинокъ, можетъ достигать 8000 (Дю-Буа Реймонъ). Число всѣхъ этажей колеблется въ довольно широкихъ границахъ, отъ 50 до 100, такъ что число всѣхъ пластинокъ въ боковомъ органѣ равно 400—800 тысячъ. Размѣры ящичковъ впрочемъ не вездѣ одинаковы: задняя часть органа состоитъ изъ гораздо болѣе широкихъ ящичковъ (см. фиг. 23).

Только что описанный органъ расположенъ съ обѣихъ боковъ животнаго и называется большимъ электрическимъ органомъ угря, — кромѣ него вдоль спины лежитъ тоже парный, такъ называемый малый органъ (см. фиг. 24, kO); по своему строенію онъ вполнѣ аналогиченъ большому.

Что касается детальнаго строенія электрической пластинки у угря, то оно представляется въ слѣдующемъ видѣ. Каждая пластинка распадается на двѣ половины, переднюю и заднюю, раздѣленныхъ безструктурнымъ слоемъ PL (фиг. 25), который

Фиг. 25.



Электрическая пластинка угря въ поперечномъ сѣченіи (продольный разрѣзъ органа). PL—Пачиніева линія; SA—передній сосочковый слой; SP—задній сосочковый слой; S и S_1— передняя и задняя перегородки; n,n—нервы, переходящіе на пластинку съ задней перегородки.

особенно рѣзко выступаетъ вскорѣ послѣ смерти и называется Пачиніевской линіей (stratum intermedium); передняя половина по всей своей свободной передней, обращенной къ головѣ животнаго, поверхности усажена сосочками (SA), благодаря которымъ увеличивается поверхность соприкосновенія ея съ наполняющей ящичекъ студенистой влагой. Эта часть пластинки называется переднимъ сосочковымъ слоемъ (stratum papillare anterius); она содержитъ ядра и соотвѣтствуетъ, по всей вѣроятности, видоизмѣненному эмбріональному мышечному волокну, изъ котораго образовалась пластинка, хотя тожественность эту у угря доказать несравненно труднѣе, чѣмъ у ската; ядра сосочковъ, вѣроятно, произошли изъ размножившихся ядеръ сарколеммы. Задняя половина пластинки тоже представляетъ сосочковыя разращенія (stratum papillare posterius), но гораздо меньше выраженныя, чѣмъ на передней

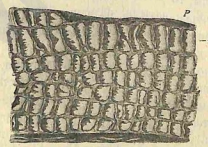
(SP); они назначены для восприняті́я нервныхъ волоконъ (n), переходящихъ на пластинку съ задней перегородки ящичка (S_1), содержатъ ядра, и образовались, вѣроятно, отчасти на счетъ размноженія элементовъ соединительнотканныхъ влагалищъ нервовъ; ядра происходятъ, должно быть, также и изъ размножившихся ядеръ бывшей сарколеммы и шванновской оболочки нервовъ. Нервы оканчиваются въ формѣ, напоминающей то двигательную пластинку Кюне въ мышцахъ, то въ видѣ сѣти.

Такимъ образомъ, въ устройствѣ электрическаго органа угря положенъ тотъ же принципъ, что и у ската. Здѣсь тоже имѣется сложно составленная электрическая батарея, въ которой нѣсколько рядовъ послѣдовательно соединенныхъ элементовъ соединены между собой параллельно. Но только тутъ длина отдѣльныхъ послѣдовательныхъ цѣпей гораздо больше (около 1 мет., тогда какъ у ската 10 ст.), благодаря этому внутреннее сопротивленіе органа здѣсь тоже несравненно больше, послѣднее увеличивается еще благодаря присутствію поперечныхъ перегородокъ у ящичковъ, которыхъ у ската нѣтъ. Но зато соотвѣтственно увеличивается электродвигательная сила батареи, и въ этомъ обстоятельствѣ нельзя не видѣть замѣчательный образчикъ приспособленія, потому что для прѣсноводнаго угря необходимо имѣть болѣе сильную батарею, чѣмъ у ската, живущаго въ морской соленой водѣ, которая служитъ гораздо лучшимъ проводникомъ электричества, такъ какъ изъ физики извѣстно, что въ такихъ случаяхъ выгоднѣе располагать источникомъ съ большей электромоторною силою, хотя и съ большимъ внутреннимъ сопротивленіемъ.

Въ то время, какъ у только что описанныхъ родовъ рыбъ мы имѣли дѣло съ электрическими органами высоко дифференцированными и такой значительной силы, что разряды ихъ опасны для крупныхъ животныхъ и людей, у обыкновенныхъ скатовъ (Raja) и у видовъ нильской щуки (Mormyrus), какъ уже было сказано, имѣются тоже дифференцировавшіеся изъ мышцъ органы, спеціальная задача которыхъ заключается также въ производствѣ электрической энергіи, но сила ихъ настолько слаба, что только въ исключительныхъ случаяхъ можетъ быть

ощутима непосредственно, а у большинства можетъ быть доказана лишь при помощи гальванометра. Зато они имѣютъ для науки въ высшей степени интересное значеніе въ другомъ отношеніи. А именно, ихъ органы, resp. электрическія пластинки, благодаря гораздо меньшей степени дифференціаціи и приспособленія, сохранили даже въ взросломъ состоянiи всѣ основныя черты и характеръ мышечныхъ волоконъ, изъ которыхъ онѣ образовались, до ясно выраженной поперечной полосатости и двоякой преломляемости основнаго вещества включительно. Электрическіе органы у нихъ расположены на

Фиг. 26.



Продольный разрѣзъ черезъ электрическій органъ обыкновеннаго ската (Raja batis)) по В.-Сандерсону и Готчу. P—электрическая пластинка; K—ящичекъ, наполненный студенистой жидкостью.

хвостѣ, и по своему строенію близко подходятъ къ типу электрическаго угря. Они точно также раздѣлены продольными и поперечными соединительнотканными перегородками на ряды ящичковъ, наполненныхъ студенистымъ веществомъ и заключающихъ въ себѣ электрическую пластинку. У Raja пластинки прилегаютъ къ передней стѣнкѣ ящичка (фиг. 26), и на своей свободной (задней), обращенной къ просвѣту ящичка, поверхности покрытыми сосочками, какъ у угря; нервы переходятъ на нихъ съ передней стѣнки ящичка. У Mormyrus устройство органа такое же, но пластинка прилегаетъ здѣсь къ задней перегородкѣ ящичка [1]). Кромѣ того, въ эмбріологическомъ

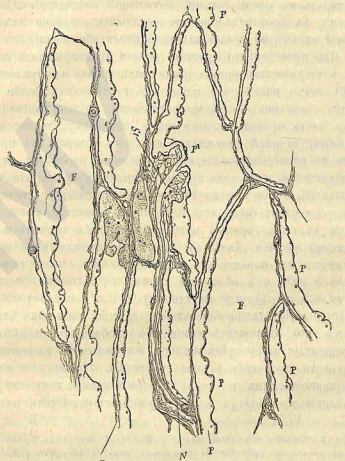
[1]) Cp. G. Fritsch. Sitzungsber. der Berl. Acad. XLIV, S. 911. 1891.

отношеніи интересно то, что здѣсь пластинка образуется не изъ одного зародышеваго мышечнаго волокна, а изъ нѣсколькихъ.

Совершенно особо отъ всѣхъ вышеописанныхъ видовъ электрическихъ рыбъ стоитъ электрическій сомъ (Malopterurus electricus), чрезвычайно сильная батарея котораго образовалась не изъ мышечныхъ, а изъ железистыхъ элементовъ его кожи (Фритшъ). Соотвѣтственно этому и электрическій органъ животнаго локализированъ въ его кожѣ, которая черезъ это достигаетъ очень значительной толщины и придаетъ всему животному неуклюжій, безформенный видъ.

Если разсматривать поверхность кожи электрическаго сома при помощи лупы, то легко видѣть, что вся она покрыта многочисленными ворсинчатыми разращеніями, благодаря которымъ образуется на ней масса небольшихъ неровностей и углубленій или криптъ. Эти углубленія узкими ходами сообщаются съ расположенными глубже мѣшечками, представляющими не что иное, какъ одноклѣточную мѣшетчатую железку, такъ какъ на днѣ ихъ находится обыкновенно только одна железистая клѣтка съ двумя ядрами; свой секретъ онѣ изливаютъ прямо на поверхность описанныхъ криптъ. Изъ этихъ-то железъ и образуется, по Фритшу, электрическій органъ такимъ образомъ, что железистая клѣтка метаморфозируется въ электрическую пластинку, которая и располагается на одной сторонѣ железистаго мѣшечка, выводной протокъ закрывается, мѣшечекъ наполняется студенистой жидкостью, и получается замкнутый ящичекъ съ электрической пластинкой внутри. Какъ видно изъ рисунка, изображающаго продольный разрѣзъ черезъ кожу сома (фиг. 27), ящички расположены здѣсь далеко не такими правильными рядами, какъ у вышеописанныхъ рыбъ, но однако и здѣсь всѣ пластинки лежатъ параллельно одна другой и расположены въ плоскостяхъ, перпендикулярныхъ длинѣ рыбы, такъ что ихъ свободныя поверхности обращены въ одну и ту же сторону—впередъ, т. е. къ головѣ. Каждая пластинка плотно прилегаетъ къ задней соединительнотканной стѣнкѣ своего ящичка, откуда получаетъ нервы и сосуды. Сама она представляется безструктурной, съ бугристой передней поверхностью и заключаетъ ядра, потомки ядеръ,

Фиг. 27.



Продольный разрѣзъ черезъ органъ электрическаго сома (Malopterurus electricus) по Фритшу. F—ящички, наполненные студенистымъ содержимымъ; P—электрическія пластинки на ихъ заднихъ стѣнкахъ; NSt—нервный стволикъ.

бывшей железистой клѣтки. Число всѣхъ пластинокъ по вычисленію Фритша во всемъ органѣ превосходитъ 2,000,000; отъ головы до хвоста въ одинъ рядъ лежитъ около 1,600 пластинокъ. Весь органъ на значительномъ пространствѣ охватываетъ все тѣло животнаго и легко можетъ быть удаленъ

вмѣстѣ съ кожей, которая соединена съ подлежащими частями посредствомъ очень рыхлой подкожной клѣтчатки; слѣдовательно, въ противоположность остальнымъ, у сома электрическій органъ не представляетъ парнаго образованія.

Изъ приведеннаго краткаго очерка анатомическаго строенія электрическаго органа различныхъ видовъ электрическихъ рыбъ легко видѣть, что планъ его у всѣхъ ихъ болѣе или менѣе одинаковъ. Вездѣ мы встрѣчаемъ, какъ существеннѣйшую часть органа, электрическую пластинку, заключенную въ бесструктурной полужидкой средѣ, съ которой она приходитъ въ непосредственное соприкосновеніе одной изъ своихъ поверхностей, тогда какъ другая поверхность ея покрыта, какъ оболочкой, болѣе или менѣе развитымъ слоемъ, состоящимъ изъ элементовъ соединительнотканнаго характера, заключающихъ въ себѣ нервныя волокна, окончанія нервовъ и сосудистыя вѣточки. Далѣе мы замѣчаемъ, что пластинки всегда располагаются параллельно, и притомъ такъ, что у каждаго даннаго вида онѣ обращены своими свободными поверхностями всѣ въ одну и ту же сторону [1]). Это послѣднее обстоятельство имѣетъ особенно важное значеніе, такъ какъ оказывается, что въ моментъ удара всѣ свободныя поверхности, обращенныя въ просвѣтъ ящичка, и тыльныя [2]), къ которымъ подходятъ окончанія нервовъ и сосуды, заряжаются всегда противоположнымъ по знаку электричествомъ, такъ что направленіе тока всегда перпендикулярно поверхности пластинокъ. При этомъ у Malopterurus токъ имѣетъ направленіе (въ самой пластинкѣ) отъ ея свободной къ тыльной поверхности, а у всѣхъ остальныхъ наоборотъ, т. е. въ первомъ случаѣ свободная поверхность пластинки во время удара становится отрицательной (входящій токъ), а въ послѣднемъ положительной (выходящій токъ) по отношенію къ тыльной.

Благодаря такимъ отношеніямъ, направленіе и распредѣленіе петель тока во время удара будетъ у всѣхъ перечисленныхъ электрическихъ рыбъ представляться въ слѣдующемъ видѣ. У Torpedo, гдѣ свободная поверхность пластинки (+, выход.) обращена вверхъ къ спинѣ, а отрицательная — къ брюшной сторонѣ животнаго, направленіе тока при ударѣ будетъ въ самомъ органѣ отъ живота къ спинѣ, а слѣдовательно, въ окружающей водѣ наоборотъ. У Gymnotus и Mormyrus, гдѣ свободная, тоже положительная, поверхность обращена къ головѣ, а тыльная, отрицательная — къ хвосту, направленіе удара будетъ въ самомъ органѣ сзади напередъ — отъ хвоста къ головѣ, а въ водѣ обратно — спереди назадъ. У Raja пластинка прилежитъ къ передней стѣнкѣ ящичка, а потому свободная ея поверхность, равнымъ образомъ положительная, обращена назадъ; поэтому направленіе тока здѣсь будетъ противоположное, чѣмъ у двухъ предыдущихъ, т. е. въ самомъ органѣ отъ головы къ хвосту, въ водѣ — обратно. Наконецъ, у Malopterurus, гдѣ пластинки, какъ у Gymnotus и Mormyrus, обращены свободными поверхностями впередъ, направленіе тока, несмотря на то, будетъ, какъ у Raja, въ самомъ органѣ отъ головы къ хвосту, потому что токъ въ самой пластинкѣ идетъ здѣсь въ обратномъ направленіи отъ передней (—) къ задней (+) ея поверхности.

Какъ уже сказано, взгляды на происхожденіе электрическаго тока этихъ рыбъ мѣнялись сообразно возврѣніямъ на сущность животнаго электричества вообще. Такимъ образомъ, въ то время какъ для сторонниковъ Гальвани электрическій органъ являлся настоящимъ источникомъ животнаго электричества par excellence. Вольта смотрѣлъ на него, какъ на особый случай электрическаго столба, состоящаго изъ разнородныхъ соприкасающихся частей. Точно такъ же въ болѣе

[1]) У Torpedo, Gymnotus, Raja и Mormyrus замѣчается кромѣ того весьма правильное расположеніе пластинокъ рядами, чего нѣтъ у Malopterurus, но это обстоятельство не имѣетъ существеннаго значенія, какъ не имѣетъ значенія геометрически правильное расположеніе элементовъ въ обыкновенной гальванической батареѣ, если только, разумѣется, они дѣйствуютъ въ одну сторону своими полюсами (т. е. всѣ цинки, напримѣръ, въ одну, а угли въ другую), а у Malopterurus это послѣднее условіе соблюдено, такъ какъ пластинки всѣ расположены соотвѣтственными поверхностями въ одну сторону; благодаря правильному расположенію уменьшается только внутреннее сопротивленіе батареи.

[2]) Названіе «тыльная» употребляется здѣсь не въ качествѣ опредѣляющаго расположеніе пластинки по отношенію къ тѣлу животнаго, а только для обозначенія несвободной стороны пластинки, къ которой подходятъ нервы и сосуды, въ отличіе отъ свободно выстоящей въ просвѣтѣ ящичка стороны ея.

новое время молекулярная теорія Дю-Буа Реймона и альтераціонная Германа строили свои объясненія на тѣхъ же самыхъ основахъ, которыя были приняты ими для мышечныхъ и т. д. токовъ. Такъ какъ микроскопическія изслѣдованія показали, что электрическій органъ у всѣхъ рыбъ состоитъ изъ болѣе или менѣе одинаково построенныхъ основныхъ элементовъ—электрическихъ пластинокъ, то и молекулярная, и альтераціонная теорія смотрѣла на пластинку, какъ на настоящій источникъ электродвигательной силы органа. Сообразно съ этимъ, Дю-Буа Реймонъ считалъ ее за средоточіе электродвигательныхъ диполярныхъ молекулъ, которыя будучи въ покойномъ состояніи расположены своими полюсами какъ попало, въ моментъ удара обращаются всѣ своими положительными поверхностями въ одну, а отрицательными въ другую сторону. Съ точки зрѣнія теоріи Германа слѣдуетъ допустить, что въ моментъ удара въ пластинкѣ происходитъ какой то альтераціонный процессъ, при которомъ одна ея часть претерпѣваетъ большія измѣненія, чѣмъ другая, благодаря чему и возникаетъ между ними разность потенціаловъ.

Приступая къ разсмотрѣнію вопроса съ нашей точки зрѣнія, необходимо припомнить тѣ условія, при которыхъ можетъ появиться токъ въ цѣпи, состоящей исключительно изъ жидкихъ проводниковъ безъ участія металловъ. Мы видѣли (гл. VII), что это возможно только въ 2-хъ случаяхъ. А именно, если имѣемъ цѣпь, составленную изъ нѣсколькихъ растворовъ по крайней мѣрѣ двухъ различныхъ электролитовъ, причемъ концентраціи взятыхъ растворовъ тоже должны быть строго опредѣленны (стр. 201, прим.), во-вторыхъ, концентраціонная цѣпь можетъ быть образована и при участіи одного только электролита, но при условіи, что диффузія его совершается преимущественно только въ одномъ направленіи, а это послѣднее обстоятельство имѣетъ мѣсто, какъ мы видѣли, только тогда, когда препятствія для движенія диффундирующихъ іоновъ не одинаковы въ разныя стороны отъ источника ихъ накопленія.

Что касается до перваго случая, то уже a priori можно сомнѣваться въ возможности существованія въ электрическомъ

органѣ такого сложнаго механизма, который въ каждую данную минуту, повинуясь волѣ животнаго или искусственному внѣшнему раздраженію, выдѣлялъ бы сразу по крайней мѣрѣ три или четыре жидкости, несмѣшанныя, но находящіяся въ соприкосновеніи другъ съ другомъ, и притомъ строго опредѣленнаго состава и концентраціи. При изученіи микроскопическаго строенія органа мы не находимъ на это ни малѣйшаго указанія. Напротивъ, при разсмотрѣніи электрической пластинки сразу бросается въ глаза та особенность въ ея строеніи, благодаря которой слѣдуетъ предположить, что диффузія могущихъ здѣсь появиться продуктовъ обмѣна будетъ совершаться почти исключительно въ одномъ только направленіи, а именно, по направленію къ жидкости ящичковъ, непосредственно соприкасающейся съ свободною поверхностью пластинки.

Въ самомъ дѣлѣ, у всѣхъ вышеописанныхъ рыбъ пластинка является образованіемъ, состоящимъ изъ двухъ частей, рѣзко разнящихся какъ по своему строенію, такъ и по онтологическому развитію и физіологической функціи: свободной, обращенной къ жидкости ящичка половины, которая, будучи образована изъ специфической мышечной или железистой ткани, должна быть разсматриваема, какъ настоящій генераторъ электрической силы органа, и тыльной поверхности, состоящій изъ болѣе или менѣе значительнаго слоя соединительноткаинаго характера, заключающаго только сосуды и нервныя окончанія, а потому не могущаго принимать непосредственнаго участія въ продукціи силъ, дающихъ начало электрическому току органа; при этомъ бросается въ глаза, что почти у всѣхъ видовъ электрическихъ рыбъ свободная поверхность пластинки покрыта неровностями и разращеніями, назначеніе которыхъ должно служить, повидимому, для болѣе интимнаго соприкосновенія поверхности пластинки со студенистой жидкостью ящичка.

Такимъ образомъ оказывается, что специфически дѣйствующая (свободная) половина пластинки съ одной стороны входитъ въ непосредственное и ближайшее соприкосновеніе съ жидкой средой, ее окружающей, а съ другой своей стороны

покрыта слоемъ соединительнотканныхъ элементовъ, которые, вслѣдствіе ихъ сильной поляризуемости, должны представлять весьма значительныя препятствія для движенія іоновъ. Отсюда слѣдуетъ заключить, что если подъ вліяніемъ воли животнаго или при искусственномъ раздраженіи электрическій органъ приходитъ въ дѣятельное состояніе, то накопляющіеся въ дѣйствующей половинѣ пластинки продукты обмѣна будутъ диффундировать почти исключительно въ одномъ только направленіи въ окружающую пластинку жидкость ящичка, а именно черезъ свободную поверхность пластинки, тогда какъ диффузія черезъ тыльную, «нервную» поверхность ея будетъ совершенно ничтожна въ сравненіи съ первой. При такихъ условіяхъ необходимо долженъ появиться электрическій токъ, направленіе котораго будетъ зависѣть отъ отношенія между скоростями движенія положительнаго и отрицательнаго іоновъ диффундирующаго вещества: если скорость положительнаго больше, то направленіе электрическаго тока будетъ одинаково съ направленіемъ диффузіи, въ противномъ случаѣ—обратное.

Такимъ образомъ, необходимыя условія для возникновенія диффузіоннаго электрическаго тока въ пластинкѣ, несомнѣнно, имѣются на лицо. Остается только рѣшить вопросъ, какіе же іоны выдѣляются при распадѣ специфической субстанціи электрической пластинки во время разряда органа. Къ сожалѣнію, химизмъ совершающихся здѣсь процессовъ извѣстенъ очень мало. Но принимая во вниманіе происхожденіе электрической пластинки въ одномъ случаѣ изъ мышечной, а въ другомъ изъ железистой субстанціи, мы въ правѣ предположить, что характеръ продуктовъ, получающихся при диссимиляціи ея вещества, остается прежній, т. е. въ первомъ случаѣ будутъ образовываться, какъ при дѣятельности мышцы, вещества кислотнаго характера (съ болѣе скоро движущимися положительными іонами), а во второмъ,—подобно слизистымъ железамъ, изъ которыхъ образовался органъ сома,—щелочнаго (съ болѣе быстрымъ отрицательнымъ іономъ). Экспериментально это доказано только для электрическаго органа ската, который при дѣятельности пріобрѣтаетъ кислую реакцію (Максъ Шульце) [1]).

[1]) Въ противоположность М. Шульце, Дю-Буа Реймонъ не могъ доказать увеличенія кислотности при дѣятельности вырѣзаннаго органа ската (Ges. Abh. Bd. II, S. 646). Дальнѣйшія изслѣдованія въ этомъ направленіи также и на другихъ рыбахъ настоятельно необходимы. Весьма возможно, что трудность доказать увеличеніе кислотности органа при его дѣятельности зависитъ отъ особенностей гистологическаго строенія органа (присутствіе обширныхъ пространствъ, наполненныхъ жидкостью—ящичковъ), благодаря которому CO_2 удаляется здѣсь прочь несравненно быстрѣе, чѣмъ, напримѣръ, изъ мышцы.—Въ послѣднее время Рёмапу (Röhmann) удалось доказать увеличеніе кислотности дѣятельнаго органа ската при помощи фуксиновой пробы Дрезера (Ср. Bieder. Op. cit. II, S. 840).

Во всякомъ случаѣ при наличности теперешнихъ нашихъ знаній по этому вопросу, мы имѣемъ полное право думать, что продукты метаморфоза, появляющіеся въ пластинкѣ во время разряда органа, будутъ сохранять тотъ же химическій характеръ, какой присущъ той ткани, изъ которой пластинка образовалась.

Такимъ образомъ, при дѣятельности электрическаго органа, пластинки котораго метаморфизировались изъ мышцъ, т. е. у Torpedo, Gymnotus, Raja и Mormyrus, продукты метаморфоза должны, какъ и у мышцъ, имѣть кислотный характеръ, а потому электрическій токъ долженъ идти по тому же направленію, по которому совершается диффузія, слѣдовательно онъ будетъ *выходящимъ по отношенію къ свободной поверхности пластинки*, и такимъ образомъ во всемъ органѣ онъ будетъ идти въ ту сторону, куда обращены свободной поверхностью пластинки, т. е. у Torpedo—снизу вверхъ, у Gymnotus и Mormyrus—сзади напередъ, а у Raja—спереди назадъ. Такъ оно и есть, на самомъ дѣлѣ. У Malopterurus же, гдѣ пластинки дифференцировались изъ слизистыхъ железъ кожи, продукты метаморфоза которыхъ носятъ щелочной характеръ, мы въ правѣ ожидать, что электрическій токъ будетъ *входящимъ по отношенію къ поверхности пластинки*, подобно тому, какъ это имѣетъ мѣсто на солитарныхъ слизистыхъ железахъ. Слѣдовательно, въ самомъ органѣ онъ будетъ идти въ направленіи, противоположномъ тому, куда обращена свободная поверхность пластинки, т. е. отъ головы къ хвосту, что и имѣетъ мѣсто въ дѣйствительности.

Пользуясь вышеприведенными соображеніями, мы можемъ безъ труда устроить искусственную схему электрическаго

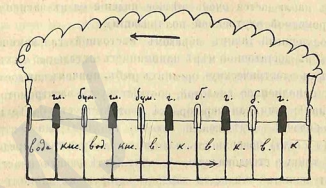
органа, на которой легко вызвать явленія, вполнѣ аналогичныя съ электрическими токами, наблюдаемыми у рыбъ.

При изученіи условій появленія диффузіоннаго электрическаго тока во влажныхъ проводникахъ, въ составъ которыхъ входитъ растворъ одного только электролита (гл. VII), мы пользовались приборомъ, который состоялъ изъ ящичка, раздѣленнаго двумя окончатыми перегородками на три отдѣленія: въ среднее наливался испытуемый растворъ электролита, а въ оба крайніе вода (или болѣе слабый растворъ того же электролита); если при этомъ отверстія обѣихъ отдѣляющихъ растворы перегородокъ закрыты перепонками съ различной диффузіонной проницаемостью, напримѣръ, если одно изъ нихъ задѣлано влажной глиной, а другое закрыто фильтровальной бумагой, кускомъ какой-нибудь матеріи, ватой и т. д., то при отведеніи отъ двухъ крайнихъ растворовъ въ гальванометрѣ появляется токъ, направленіе котораго совпадаетъ (при электролитѣ кислотѣ) съ направленіемъ, по которому диффузія происходитъ легче, такъ напримѣръ, если отверстіе одной перегородки закрыть влажной глиной, а другое ватой, то направленіе тока будетъ изъ средняго отдѣленія въ то, которое отдѣлено ватой.

Предположимъ теперь, что имѣющійся у насъ ящикъ раздѣленъ окончатыми перегородками не на два отдѣленія, а на нѣсколько (фиг. 28).

Нальемъ въ каждое четное отдѣленіе (2, 4, 6,....) растворъ сѣрной кислоты, а въ нечетныя (1, 3, 5,....) воды, предварительно закрывши плотно отверстія нечетныхъ перегородокъ однимъ матеріаломъ, напримѣръ, почти непроницаемой для диффузіи глиной, а отверстія четныхъ—другимъ, напримѣръ, легко проницаемой полотняной тряпочкой или фильтровальной бумагой. Тогда, при отведеніи отъ двухъ ближайшихъ нечетныхъ отдѣленій, наполненныхъ водой, напр. 3-го и 5-го, гальванометръ будетъ обнаруживать присутствіе тока, происходящаго вслѣдствіе неодинаковой легкости диффузіи раствора кислоты изъ отдѣленія 4-го въ отдѣленія 3-ье и 5-ое; токъ этотъ, направленіе котораго указываетъ стрѣлка на рисункѣ, въ данномъ случаѣ будетъ направленъ въ сторону

Фиг. 28.



перегородки, закрытой менѣе задерживающей диффузію бумагой. То же самое получится при отведеніи отъ 1 и 3 отдѣленій, или 5 и 7 и т. д.; каждое изъ четныхъ отдѣленій, наполненныхъ растворомъ кислоты, будетъ являться такимъ образомъ въ качествѣ генератора электрической энергіи или электрическаго элемента, отъ котораго токъ отводится посредствомъ двухъ сосѣднихъ отдѣленій, наполненныхъ водой. Очевидно, такимъ образомъ, что если мы погрузимъ отводящіе электроды, не въ два ближайшія наполненныя водой отдѣленія, а, напримѣръ, въ крайнія, т. е. въ 1 и 9, то при этомъ въ цѣпь гальванометра окажутся включенными не одинъ изъ этихъ элементовъ - отдѣленій, а нѣсколько, въ данномъ случаѣ—четыре (2, 4, 6 и 8), т. е. цѣлая гальваническая батарея, электродвигательная сила которой будетъ равна суммѣ отдѣльныхъ входящихъ въ составъ ея элементовъ — 2, 4, 6 и 8-го. Если, напримѣръ, взять для опыта $10^{0}/_{0}$ сѣрную кислоту, обыкновенную воду изъ водопровода, глину и бумагу, то электродвигательная сила каждаго отдѣльнаго элемента, въ зависимости отъ толщины слоя бумаги и проч., можетъ достигать 0,15 вольта, поэтому отъ 10 такихъ элементовъ можно получить электродвигательную силу, превышающую силу элемента Даніеля. Увеличивая число элементовъ, можно заставить расти силу батареи неограниченно. (Однако слѣдуетъ имѣть въ виду, что такая значительная сила мо-

жетъ быть достигнута только въ первыя секунды опыта,— затѣмъ наблюдается очень рѣзкое паденіе ея въ зависимости отъ громадной внутренней поляризаціи).

Полученный такимъ образомъ настоящій гальваническій столбъ въ достаточной мѣрѣ напоминаетъ отдѣльный тяжъ или столбъ въ электрическихъ органахъ рыбъ, причемъ каждое отдѣленіе, наполненное кислотой, соотвѣтствуетъ электромоторной пластинкѣ: глиняная перегородка соотвѣтствуетъ болѣе плотной оболочкѣ, отдѣляющей заднюю (у угря) или вентральную (у ската) поверхность пластинки, а бумажная представляетъ тонкую стекловидную оболочку, отдѣляющую пластинку отъ студенистой жидкости камеры, которую въ данномъ случаѣ замѣняетъ наполненное водой отдѣленіе нашего прибора. Если бы мы взяли нѣсколько ящиковъ съ перегородками, подобныхъ вышеописанному, и, наполнивши ихъ такимъ же образомъ растворомъ кислоты и воды, соединили сначала соотвѣтственныя крайнія отдѣленія всѣхъ ящиковъ съ одной и съ другой стороны, напримѣръ, посредствомъ двухъ влажныхъ полосъ марли, а затѣмъ уже, приведя электроды въ соприкосновеніе съ этими полосами, отвели бы токъ сразу отъ всѣхъ ящиковъ, то получившаяся такимъ образомъ смѣшанная (т. е. соединенная послѣдовательно и параллельно) батарея вполнѣ будетъ схематизировать электрическую батарею рыбъ.

Общее направленіе тока въ устроенной такимъ образомъ батареѣ будетъ совпадать съ направленіемъ, въ которомъ происходитъ диффузія кислоты, т. е. въ каждомъ отдѣленіи, наполненномъ кислотой, токъ будетъ идти отъ перегородки, закрытой глиной, къ той, которая закрыта ватой: первая такимъ образомъ будетъ отрицательна (входящій токъ), а вторая положительна (выходящій токъ). Если вмѣсто раствора кислоты влить въ каждое четное отдѣленіе ящика растворъ какого-нибудь другого электролита, отрицательные іоны котораго обладаютъ большею диффузіонною скоростью, чѣмъ положительные, напримѣръ NaCl, то направленіе тока получится обратное тому, которое имѣетъ мѣсто при кислотѣ, причемъ перегородка, закрытая мало проницаемой для диффузіи глиной, окажется уже положительной (выходящій токъ) по отношенію къ перегородкѣ, закрытой легко проходимой для іоновъ бумагой, которая будетъ отрицательна (входящій токъ).

Въ первомъ случаѣ, слѣдовательно, мы будемъ имѣть предъ собою схему электрической батареи тѣхъ рыбъ, у которыхъ электрическія пластинки образовались изъ метаморфозированныхъ мышечныхъ элементовъ (скатъ, угорь), гдѣ развитіе тока должно быть связано съ образованіемъ угольной или фосфорной кислоты, которая и даетъ электрическій токъ въ направленіи наиболѣе легко совершающейся диффузіи, причемъ сторона пластинки, закрытая плотной соединительнотканной оболочкой, является отрицательной по отношенію къ той, которая свободно выстоитъ въ жидкости камеры, отдѣленная отъ нея только тонкимъ слоемъ стекловидной оболочки; во второмъ же случаѣ наша схема будетъ представлять электрическую батарею сома, у которой развитіе электричества должно быть приписано дѣятельности метаморфозированныхъ въ электрическія пластинки кожныхъ железъ животнаго, связанной съ образованіемъ продуктовъ метаморфоза щелочнаго характера, причемъ электрическій токъ имѣетъ направленіе, противоположное направленію диффузіи, такъ что закрытая болѣе плотной перегородкой сторона элемента-пластинки оказывается положительной (выходящій токъ) по отношенію къ другой, препятствіи для диффузіи черезъ которую меньше.

Всѣ описанные выше опыты весьма легко и просто могутъ быть воспроизведены, за неимѣніемъ подъ рукой ящика съ окончатыми перегородками, если заставить растворъ кислоты диффундировать въ вату, напитанную водой—съ одной стороны, и въ фильтровальную бумагу—съ другой, какъ это описано выше въ главѣ VII, или же въ глину и вату. Для этого можно взять раздѣленный перегородками на отдѣленія ящичекъ отъ обыкновенной электрической машинки Шпаммера, въ отдѣленія ящичка наливаемъ почти до верху поочередно воду и растворъ кислоты, напримѣръ въ 1, 3, 5, 7 и 9 воду, а во 2, 4, 6, 8 и 10 кислоту; затѣмъ приготовляемъ 6 полосъ изъ фильтровальной бумаги и 5 полосъ изъ глины, и намочивши бумажныя полоски въ водѣ помѣщаемъ тѣ и другія на краяхъ перегородокъ такимъ образомъ, чтобы каждая полоска

бумаги и глины была погружена своими концами въ два сосѣднія отдѣленія ящичка, за исключеніемъ двухъ крайнихъ полосокъ бумаги, которыя только однимъ концомъ сѣшиваются въ крайнія отдѣленія (на фиг. 28 и изображено именно такое расположеніе).

Благодаря тому, что диффузія кислоты въ напитанную водой бумагу и глину совершается не съ одинаковою легкостью, каждое отдѣленіе, наполненное кислотой, превратится въ источникъ диффузіоннаго электрическаго тока, направляющагося въ ту сторону, куда диффузія совершается легче, т. е. въ самомъ отдѣленіи, наполненномъ кислотой, отъ глины къ бумагѣ, какъ это изображено стрѣлкой; въ отдѣленіяхъ наполненныхъ водой никакого диффузіоннаго тока возникнуть не можетъ, такъ какъ они содержатъ ту же воду, которой напитаны полоски бумаги и глины (предполагая, что послѣдняя замѣшана тоже на водѣ) [1]. Если теперь, приведя лежащіе на краяхъ ящика концы крайнихъ бумажекъ въ соприкосновеніе съ неполяризующимися электродами, замкнуть токъ, то очевидно, что полученная при этомъ электромоторная сила нашей батареи будетъ равна суммѣ электромоторныхъ силъ развиваемыхъ въ каждомъ отдѣленіи ящичка; въ случаѣ 10% раствора сѣрной кислоты и воды, она легко можетъ достигнуть въ первыя секунды по замыканіи тока величины до полу-вольта. Если вмѣсто бумаги взять болѣе проницаемую для диффузіи вату, то сила получится еще больше; если вмѣсто кислоты брать растворъ хлористаго натрія, то направленіе тока будетъ обратное и т. д. Однимъ словомъ, съ такимъ приборомъ легко воспроизвесть всѣ вышеупомянутые опыты съ ящикомъ, снабженнымъ окончатыми перегородками. То и другое приспособленіе можетъ служить прекрасной схемой дѣйствія электрическаго органа рыбъ.

Особенно эффектно можетъ быть произведенъ опытъ слѣдующимъ образомъ: приготовляемъ все, какъ было опи-

[1]) Эти отдѣленія служатъ только для замыканія тока всей батареи, получающагося изъ отдѣленій, наполненныхъ кислотой; можно было бы обойтись и совсѣмъ безъ нихъ, приведя просто въ соприкосновеніе между собою погруженные въ нихъ концы полосокъ бумаги и глины.

сано раньше, съ тою только разницею, что вмѣсто кислоты во всѣ отдѣленія наливаемъ воду. Очевидно, что при отведеніи въ гальванометръ его стрѣлка останется въ совершенномъ покоѣ, такъ какъ никакой диффузіи совершаться при этомъ не будетъ; но стоитъ только подлить посредствомъ пипетки въ одно или нѣсколько отдѣленій (черезъ одно) нѣсколько капель кислоты, — что будетъ соотвѣтствовать моменту образованія въ раздраженномъ электрическомъ органѣ вырабатываемой имъ CO_2H_2,—какъ немедленно стрѣлка даетъ болѣе или менѣе сильное отклоненіе, въ зависимости отъ количества подлитой кислоты (подливая кислоту, жидкость слѣдуетъ слегка размѣшать той же пипеткой).

Такимъ образомъ, диффузіонная теорія даетъ совершенно простое и раціональное объясненіе на первый взглядъ очень запутанныхъ отношеній между строеніемъ электрической пластинки и направленіемъ электрическаго тока при ударѣ разныхъ рыбъ. Электрическая пластинка является настоящимъ диффузіоннымъ гальваническимъ элементомъ, а органъ сложной батарей изъ такихъ элементовъ.

Электромоторная сила такой батареи у ската, по измѣреніямъ Шенлейна, достигаетъ maximum 30—31 D. Если считать число расположенныхъ одна за другой пластинокъ элементовъ въ каждомъ столбѣ органа равнымъ 370—380, то для каждой пластинки найдемъ электромоторную силу равной $\frac{30-31}{370-380}$ D=0,081—0,084 D, т. е. той же самой величинѣ, какая найдена для максимальнаго мышечнаго тока, что, впрочемъ, и слѣдовало ожидать a priori. Если предположить, что электромоторная сила каждой пластинки у электрическаго угря достигаетъ такой же величины, какъ и у ската, то электродвигательная сила его батареи должна доходить до $0,081 \times 8000 = 672$ D, а у электрическаго сома при такомъ предположеніи получимъ $0,084 \times 1600 = 134$ D. Но весьма возможно, что и у угря, и у сома электродвигательная сила каждой пластинки нѣсколько меньше: у перваго по причинѣ меньшей, повидимому, изоляціи дорзальной стороны ея (менѣе совершенно устроенный соединительнотканный слой, чѣмъ у Tor-

pedo) [1], а у послѣдняго—благодаря менѣе правильному строенію органа [2].

Что касается до дѣятельности электрическаго органа въ цѣломъ, то отдѣльный ударъ ската протекаетъ во времени такимъ образомъ, что послѣ скрытаго періода въ 0,01 сек. электродвигательная сила быстро достигаетъ maximum'а, и затѣмъ болѣе медленно падаетъ въ продолженіе около 0,5 сек., но окончательно до нуля стрѣлка гальванометра возвращается не скоро, такъ что слабые остатки тока, такъ называемый «токъ послѣдѣйствія» (Nachwirkung) можетъ длиться часами. Такъ протекаетъ кривая при одиночномъ искусственномъ раздраженіи свѣжаго неистощеннаго органа, напримѣръ, посредствомъ отдѣльнаго индукціоннаго удара. При этомъ всѣ пластинки приходятъ въ состояніе дѣятельности болѣе или менѣе одновременно и равномѣрно. Если органъ находится въ состояніи умиранія или истощенъ предшествовавшими раздраженіями, то, вслѣдствіе неодновременной и несогласованной дѣятельность отдѣльныхъ его частей, кривая разряда принимаетъ зигзагообразный видъ.

[1]) У Gymnotus дорзальный соединительнотканный слой болѣе рыхлаго строенія, не такъ плотно прилегаетъ къ пластинкѣ и покрытъ на своей задней поверхности, гдѣ входятъ нервы, пиповидными разращеніями, которыя тоже должны вредить изоляціи.

[2]) Дю-Буа Реймонъ, пытаясь вычислить на основаніи своей молекулярной теоріи электродвигательную силу органовъ ската и угря, получилъ гораздо большія величины. А именно, онъ предполагаетъ, что электрическая пластинка Torpedo состоитъ изъ двухъ электродвигательныхъ молекулъ, которыя въ состояніи покоя обращены своими одноименными полюсами въ разныя стороны, такъ что нейтрализуютъ другъ друга; каждая молекула пластинки, по его мнѣнію, обладаетъ такой же силой, какъ молекула мышечная, т. е. равной около 0,1 D; въ моментъ удара молекулы обращаются одноименными полюсами въ одну сторону. Электрическая сила каждой пластинки будетъ при этомъ $2 \times 0{,}1\ D = 0{,}2D$, а всего органа ската, слѣдовательно, $400 \times 0{,}2 = 80D$. Далѣе Д.-Б. Р. предполагаетъ, что пластинка Gymnotus заключаетъ въ 8,5 разъ больше молекулъ на томъ основаніи, что она въ 8,5 толще, чѣмъ у ската (считая и пиповидныя разращенія на ея обѣихъ поверхностяхъ). Отсюда онъ вычисляетъ, что электромоторная сила всего органа равна $6000 \times 0{,}2 \times 8{,}5 = 10{,}200\ D$. Такая величина уже невѣроятна. (Cp. Ges. Abh. II, SS. 669—673 и Bieder. Op. cit. II, S. 838). Въ послѣднее время Готчъ и Бурчъ (Gotch and Burch) нашли, что электродвигательная сила пластинки Malopterurus составляетъ 0,04—0,07 Volt (Proceds. Roy. Soc. LX, pp. 37—40. 1896).

Только что описанный одиночный ударъ электрическаго органа (Theilentladung Дю-Буа Реймона) на самомъ дѣлѣ происходитъ только при одиночномъ искусственномъ раздраженіи органа, при естественномъ же разрядѣ батареи, производимомъ при участіи воли животнаго (а также при болѣе интенсивномъ и продолжительномъ искусственномъ раздраженіи органа, напримѣръ при посредствѣ индукціонной машинки), весь разрядъ составляется изъ цѣлаго ряда такихъ отдѣльныхъ ударовъ, причемъ каждый послѣдующій начинается прежде, чѣмъ окончится предыдущій, т. е. дѣло происходитъ совершенно такъ, какъ при сокращеніи мышцъ, вызванномъ волей. По Марею естественный разрядъ органа электрическаго ската длится около 0,23 sec., и на этотъ промежутокъ времени приходится въ среднемъ 25 отдѣльныхъ ударовъ (Theilentladung). Такимъ образомъ ударъ электрической рыбы аналогиченъ не единичному замыканію постояннаго тока, а раздраженію отъ прерывистаго тока, и благодаря этимъ перерывамъ его физіологическое дѣйствіе на животныхъ гораздо значительнѣе.

Только что описанныя явленія находятся въ полномъ согласіи съ развиваемой нами диффузіонной теоріей электрическаго удара органа. Присутствіе послѣ разряда органа продолжительнаго тока послѣдѣйствія непосредственно вытекаетъ изъ того предположенія, что въ моментъ удара въ пластинкѣ развивается значительное количество угольной кислоты, послѣдніе остатки которой удаляются изъ нея только въ продолженіе болѣе или менѣе долгаго времени [1]). Что касается до главной массы CO_2H_2, то она, благодаря большой площади свободной поверхности пластинки, которая находится въ соприкосновеніи съ жидкостью камеры, должна очень быстро перейти въ эту жид-

[1]) Для объясненія тока послѣдѣйствія по всякой иной теоріи приходится пользоваться тѣмъ положеніемъ, что вообще всякій эффектъ раздраженія длится еще нѣкоторое время по удаленіи раздражителя. Однако здѣсь приходится допустить возможность такого послѣдовательнаго эффекта въ протяженіе нѣсколькихъ часовъ. Такое же явленіе замѣчается на токахъ растеній (см. гл. XI).

кость, оттуда тоже очень легко можетъ быть удалена прочь при посредствѣ многочисленныхъ лимфатическихъ и кровеносныхъ сосудовъ, принизывающихъ боковыя стѣнки ящичковъ, въ которыхъ заключены пластинки. Наличность въ электрическомъ органѣ приспособленій для быстраго удаленія образующейся въ моментъ удара CO_2H_2, конечно, не можетъ быть признана случайной, такъ какъ только благодаря этому и возможенъ многократный разрядъ органа въ столь короткій промежутокъ, какъ $^1/_4$ сек. Выше мы уже указывали на фактъ быстраго удаленія углекислоты, какъ на возможную причину, благодаря которой трудно доказать увеличеніе кислотности электрическаго органа во время его дѣятельнаго состоянія.

На вырѣзанномъ и находящемся въ покоѣ электрическомъ органѣ или его части тоже наблюдаются электрическіе токи, хотя и слабые, и тутъ, какъ и слѣдовало ожидать, чаще всего можно констатировать присутствіе слабаго тока, имѣющаго то же направленіе, что и токъ удара, — такъ называемый токъ покоя электрическаго органа (Ruhestrom). Этотъ токъ представляетъ не что иное, какъ токъ послѣдѣйствія, результатъ предшествовавшей физіологической дѣятельности органа. По величинѣ онъ бываетъ равенъ обыкновенному мышечному току (0,1 D). На умирающемъ органѣ можно наблюдать токъ противоположнаго направленія; онъ имѣетъ такое же значеніе, какъ и мышечный токъ въ подобномъ случаѣ (стр. 125).

Точно также на органѣ можно наблюдать и искусственно вызванныя вторичныя электромоторныя дѣйствія. А именно, если пропускать черезъ органъ болѣе или менѣе долгое время постоянный токъ отъ гальваническаго элемента или батареи, то послѣ этого въ немъ можно доказать присутствіе поляризаціоннаго тока противоположнаго направленія. Здѣсь дѣло осложняется только тѣмъ обстоятельствомъ, что поляризующій токъ будетъ въ то же время дѣйствовать на органъ и раздражающимъ образомъ, а потому къ послѣдующему поляризаціонному току будетъ присоединяться еще и болѣе или менѣе значительный токъ дѣйствія возбужденнаго органа. Этотъ послѣдній будетъ имѣть, разумѣется, всегда такое направленіе,

какъ и физіологическій ударъ при разрядѣ органа, слѣдовательно онъ будетъ то суммироваться съ поляризаціоннымъ токомъ, то дѣйствовать противъ него, — смотря по тому, въ какую сторону происходила поляризація. Благодаря такому стеченію обстоятельствъ здѣсь возможны случаи, когда вторичный токъ будетъ имѣть то же направленіе, что и первичный, т. е. получится такъ-называемая положительная поляризація.

Чтобы яснѣе представить дѣло, лучше всего вмѣстѣ съ Дю-Буа Реймономъ называть токъ, идущій въ направленіи физіологическаго удара органа, гомодромнымъ, а въ противоположномъ — гетеродромнымъ. Токъ, происходящій отъ раздраженія органа будетъ, очевидно, всегда гомодромный, а поляризаціонный будетъ гомодромнымъ только въ томъ случаѣ, если поляризующій былъ гетеродромный. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ, т. е. при пропусканіи черезъ органъ гетеродромнаго тока, оба послѣдующіе тока будутъ имѣть противоположное ему, гомодромное направленіе, — слѣдовательно получится чистый эффектъ такъ называемой отрицательной поляризаціи. Если же черезъ органъ пропускается гомодромный токъ, то изъ послѣдующихъ вторичныхъ одинъ, происходящій отъ раздраженія, будетъ тоже гомодромный, а происходящій отъ настоящаго физическаго явленія поляризаціи — гетеродромный, и окончательный эффектъ будетъ различенъ, смотря по тому, который изъ ихъ двухъ окажется сильнѣе или продолжительнѣе; эффектъ можетъ быть или двойственнымъ, — сначала въ одномъ, затѣмъ въ другомъ направленіи, — или же прямо положительнымъ, въ томъ случаѣ, когда гомодромный токъ раздраженія окажется и сильнѣе, и продолжительнѣе гетеродромнаго поляризаціоннаго тока, или же, наконецъ, прямо отрицательнымъ, если собственно токъ раздраженія совершенно отступаетъ на задній планъ, благодаря ослабленію или умиранію органа.

Въ заключеніе главы объ электрическихъ рыбахъ остается еще сказать нѣсколько словъ о нечувствительности ихъ къ электрическимъ токамъ, какъ производимымъ другими рыбами, такъ и къ искусственнымъ, отъ индукціоннаго аппарата.

Дю-Буа Реймонъ пропускалъ сильные индукціонные удары

черезъ воду сосуда, въ которомъ находился электрическій сомъ, и наблюдалъ за нимъ, постепенно увеличивая ихъ силу. Оказалось, что къ болѣе слабымъ токамъ животное оставалось, повидимому, совершенно нечувствительно, и только при самыхъ сильныхъ токахъ, смертельныхъ для обыкновенныхъ рыбъ, сомъ сталъ шевелить усами и выказывать признаки безпокойства. Эту нечувствительность пытались объяснить изолирующимъ дѣйствіемъ кожи электрическихъ рыбъ. Дѣйствительно, Шёнлейнъ [1]) наблюдалъ на нѣсколькихъ самкахъ Torpedo, которыя были выпотрошены съ цѣлью получить дѣтенышей и сложены тѣсно другъ подлѣ друга, что всѣ онѣ сокращались разомъ въ тотъ моментъ, когда одна какая-нибудь начинала двигаться и производила разрядъ своего органа. Но если неповрежденная кожа и можетъ, такимъ образомъ, предохранить отъ дѣйствія электрическихъ ударовъ, проходящихъ черезъ воду, окружающую рыбу, то это обстоятельство совершенно непригодно къ объясненію нечувствительности рыбы къ ударамъ своей собственной батареи, которые должны хоть отчасти проходить также и черезъ тѣло ея владѣльца.

Для доказательства, что это послѣднее обстоятельство дѣйствительно имѣетъ мѣсто, Дю-Буа Реймонъ вводилъ въ ротъ и задній проходъ электрическаго сома концы проволоки, которая на всемъ остальномъ протяженіи была изолирована. Оказалось, что при каждомъ ударѣ рыбы въ проволоку отвѣтвлялась часть тока, который проходилъ, слѣдовательно, внутри рыбы. Поэтому приходится предположить, что тѣло этихъ животныхъ обладаетъ особой невоспріимчивостью къ электрическому раздраженію [2]).

Опыты Гельмгольца и Боля, дѣйствительно, указываютъ на то, что для раздраженія мышцъ и нервовъ электрическихъ рыбъ (ската и угря) требуются гораздо болѣе сильные токи, чѣмъ для раздраженія подобныхъ же препаратовъ, напр., лягушки. Можно думать, что причина этого иммунитета кроется

[1]) Biederm. Op. cit. II, S. 819.

[2]) Для объясненія ея Дю-Буа Реймонъ предполагаетъ, что порогъ раздраженія (Reizschwelle) для нервовъ этихъ животныхъ лежитъ гораздо выше, чѣмъ у обыкновенныхъ рыбъ (Ges. Abh. II, SS. 638—643).

въ сильномъ развитіи соединительной ткани между мышечными и нервными пучками. У Molopterurus, напр., оболочка, окружающая осевой цилиндръ его нерва, въ 50 разъ превышаетъ толщину самаго осевого цилиндра всѣхъ растворенныхъ въ ней веществъ, а слѣдовательно, и іоны. Природа, построившая изъ элементовъ живого тѣла сильнѣйшую батарею, сумѣла изъ нихъ же устроить и совершенный изоляторъ.

Глава XI.

Электрическія явленія въ растеніяхъ.

Изученіе электрическихъ явленій на растеніяхъ развивалось все время попутно съ развитіемъ животной электрофизіологіи, и взгляды ученыхъ на этотъ предметъ измѣнялись совершенно параллельно съ измѣненіемъ воззрѣній на природу электромоторной дѣятельности тканей животныхъ. Творецъ электромолекулярной теоріи Дю-Буа Реймонъ упоминаетъ объ электрическихъ явленіяхъ на растительныхъ тканяхъ только между прочимъ. Но вслѣдъ за появленіемъ ученія Дю-Буа Реймона ботаники постарались примѣнить его теорію и въ электрофизіологіи растеній. Причина электромоторной дѣятельности растеній объяснялась присутствіемъ въ растительныхъ тканяхъ такихъ же источниковъ электрической силы, въ видѣ электродвигательныхъ молекулъ, какъ и въ тканяхъ животныхъ. Взгляды относительно расположенія, формы и свойства самыхъ молекулъ постоянно измѣнялись сообразно экспериментальнымъ даннымъ и теоріямъ разныхъ наблюдателей. Когда Германъ выступилъ съ своей альтераціонной теоріей электрическихъ токовъ на тканяхъ животныхъ, то его взгляды нашли отголосокъ и въ растительной электрофизіологіи. Причина разности электрическаго потенціала при отведеніи въ гальванометръ различныхъ точекъ растенія была поставлена въ зависимость отъ различія въ химизмѣ отводныхъ участковъ.

Нѣсколько въ сторонѣ стоитъ теорія Кункеля, который видитъ причину электрическихъ явленій на растеніяхъ въ тѣхъ фильтраціонныхъ процессахъ, которые здѣсь совершаются. Извѣстно, что если прогонять воду или какой-нибудь электролитъ черезъ тонкія трубки или черезъ пористыя перегородки, то при этомъ появляется въ жидкости электрическій токъ, направленіе котораго для воды и большинства другихъ электролитовъ совпадаетъ съ направленіемъ тока жидкости [1]). Эти токи называются обыкновенно діафрагмальными (Diaphragmalströme), и въ нихъ то видитъ Кункель главную причину электромоторной дѣятельности растеній. Свои воззрѣнія Кункель подкрѣпляетъ анализомъ тѣхъ явленій, которыя наблюдаются на токахъ, появляющихся при движеніяхъ насѣкомоядныхъ растеній, гдѣ движенію листа предшествуетъ внезапное уменьшеніе тургора клѣтокъ (т. е. выжиманіе изъ нихъ жидкости), причемъ появляется токъ, имѣющій направленіе отъ этого мѣста. Однако, помимо того обстоятельства, что на растеніяхъ могутъ быть наблюдаемы сильные электрическіе токи и безъ всякаго движенія, теорія Кункеля была сильно поколеблена недавними изслѣдованіями Гааке (см. ниже), который установилъ несомнѣнную и тѣсную зависимость между токами растеній и совершающимися въ нихъ химическими процессами ассимиляціи и диссимиляціи. Однако нельзя отрицать возможности въ нѣкоторыхъ случаяхъ, напр. у самодвижущихся растеній, появленія и настоящихъ діафрагмальныхъ токовъ; имъ, вѣроятно, обязаны своимъ появленіемъ тѣ вторичныя колебанія тока, которыя наблюдаются на листьяхъ мимозы и мухоловки и описаны ниже. Теорія Кункеля, такимъ образомъ, ближе всего подходитъ къ теоріи мышечныхъ и нервныхъ токовъ Грюнгагена.

Во всякомъ случаѣ, при современныхъ воззрѣніяхъ на принципіальное сходство жизненныхъ функцій всѣхъ живыхъ клѣтокъ какъ животныхъ, такъ и растительныхъ, уже a priori трудно предположить, чтобы въ основѣ электромоторной дѣятельности животныхъ и растительныхъ тканей лежали двѣ разныя причины. Поэтому наша задача должна состоять прежде всего въ томъ, чтобы постараться всѣ электрическіе токи, наблюдаемые при разныхъ условіяхъ на растеніяхъ, поставить

[1]) Cm. Wiedemann. Die Lehre von der Elektricität, 2 Aufl. Bd. I. SS. 982—1023. Направленіе тока противоположное направленію движенія обнаруживаютъ, напр., нейтральное и кислое хромовокислое кали (Мунпъ), спиртовой растворъ бромистаго барія (Гаръ) и нѣкоторые сорта терпентиннаго масла (Квинке).

въ такую же причинную связь съ химическими процессами, совершающимися при этихъ условіяхъ въ различныхъ частяхъ растенія, какъ это было сдѣлано раньше для токовъ мышцъ, железъ и другихъ животныхъ тканей.

При тѣхъ процессахъ, которые связаны съ диссимиляціей вещества въ растительной клѣткѣ, появляются такіе продукты метаморфоза, какъ аспарагинъ, лейцинъ, тирозинъ, далѣе нѣкоторыя органическія кислоты и углекислота. Всѣ эти вещества обладаютъ въ большей или меньшей степени кислотнымъ характеромъ, т. е. распадаясь на іоны дадутъ въ качествѣ положительнаго катіона—водородъ, а аніономъ будетъ служить какой-нибудь сложный органическій радикалъ, а потому они должны дать начало элекрическому току, идущему въ самомъ растеніи *отъ мѣста ихъ накопленія*, и то мѣсто, гдѣ произойдетъ скопленіе ихъ, должно быть, такимъ образомъ, отрицательно по отношенію къ другому, гдѣ въ данную минуту не происходитъ распаденія вещества. Такимъ образомъ, въ этомъ отношеніи должна существовать полная аналогія между электрическимъ токомъ растеній и тканей животныхъ.

Имѣющіяся въ нашихъ рукахъ экспериментальныя данныя[1]), дѣйствительно, подтверждаютъ такое предположеніе.

Подобно тому какъ въ мышцахъ, такъ и на растеніяхъ, каждое умирающее или раздражаемое мѣсто, гдѣ, однимъ словомъ, происходитъ усиленный регрессивный метаморфозъ, относится *отрицательно* ко всякому пребывающему въ состояніи относительнаго покоя. Такимъ образомъ поперечный разрѣзъ стебля, или искусственный продольный, отрицателенъ къ остальной неповрежденной поверхности. Точно также отрицательно всякое раздавленное или инымъ какимъ-нибудь образомъ поврежденное мѣсто по отношенію къ нормальному (Германъ). Вѣроятно по той же причинѣ становится отрицательнымъ всякое быстро перегнутое мѣсто стебля или листа[2]). Электродвигательная сила токовъ растеній по величинѣ варьируетъ въ тѣхъ же границахъ, что и у животныхъ, доходя до 0,1 Dan. Очень сильные токи получаются на пенькахъ грибовъ. Сила тока при отведеніи отъ поперечнаго разрѣза и неповрежденной продольной поверхности стебля, по тѣмъ же причинамъ, что и на мышцахъ, быстро уменьшается и даже можетъ мѣнять знакъ. Умерщвленіе растенія, напр. погруженіемъ въ кипятокъ, уничтожаетъ совершенно токъ.

Особый интересъ представляютъ самопроизвольныя движенія раздражимыхъ растеній (мимоза, мухоловка). Оказывается, что и въ этомъ отношеніи существуетъ полная аналогія съ электромоторными явленіями, наблюдаемыми въ подобныхъ случаяхъ на тканяхъ животныхъ, такъ какъ всякое пришедшее въ движеніе, т. е. раздраженное мѣсто дѣлается отрицательнымъ по отношенію къ пребывающимъ въ покоѣ.

Мимоза, какъ извѣстно, имѣетъ двояко-перисто-сложные листья. Каждый черешокъ несетъ четыре вторичныхъ черешка, на которыхъ уже попарно, другъ противъ друга, расположены листочки, какъ и у обыкновенной акаціи. У основанія главнаго черешка находится утолщеніе, нижняя сторона котораго представляетъ наиболѣе раздражительную часть всего растенія. При анатомическомъ изслѣдованіи это утолщеніе оказывается состоящимъ изъ сосудисто-нервнаго пучка, вокругъ котораго находятся нѣсколько слоевъ сильно набухшихъ, тургесцированныхъ клѣтокъ съ большими межклѣточными пространствами, наполненными воздухомъ. Такія же, но гораздо меньшія утолщенія находятся у основаній вторичныхъ черешковъ и каждаго отдѣльнаго листочка. При всякомъ раздраженіи, вызванномъ, напр., прикосновеніемъ руки или стряхиваніемъ всего растенія, листочки почти мгновенно складываются, такъ что ихъ обращенныя другъ къ другу поверхности соприкасаются, вторичные черешки сближаются и весь листъ вмѣстѣ съ главнымъ корешкомъ пригибается книзу.

Причина всѣхъ этихъ движеній состоитъ въ измѣненіи тургора клѣтокъ, входящихъ въ составъ вышеупомянутыхъ

[1]) Приводимый ниже фактическій матеріалъ, въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ не сдѣлано особой ссылки, заимствованъ мною у Бидермана. Elektrophysiologie. II Abtheil. SS. 441—467.

[2]) Тутъ также, съ большою вѣроятностью, можетъ быть допущенъ діафрагмальный токъ Кункеля, происходящій вслѣдствіе внезапнаго и быстраго выжиманія жидкости изъ перегнутаго мѣста.

утолщеній основаній черешковъ и листьевъ. Наклоненіе главнаго черешка при раздраженіи внизъ происходитъ, напр., такимъ образомъ, что въ моментъ раздраженія тургоръ клѣтокъ въ нижней части корешковаго утолщенія почти мгновенно падаетъ, вслѣдствіе того, что вода изъ нихъ выжимается въ межклѣточныя пространства, вытѣсняя наружу наполнявшій ихъ до того воздухъ, тургоръ же верхнихъ клѣтокъ, оставаясь безъ измѣненія, заставитъ листъ пригнуться внизъ. (Выхожденіе воды изъ паренхимы доказывается тѣмъ, что она принимаютъ болѣе темный цвѣтъ; это можно замѣтить на глазъ, слѣдя за черешковымъ утолщеніемъ, нижняя часть котораго во время опусканія листа изъ сѣрозеленой переходитъ въ темно-зеленую). Какимъ образомъ при этомъ процессѣ внезапно уменьшается набуханіе клѣтокъ, и вода выжимается въ межклѣточныя пространства, въ настоящее время не уяснено еще. Но какъ бы это ни происходило, мы въ правѣ предположить, что въ упомянутыхъ паренхимныхъ клѣткахъ, подвергшихся раздраженію, eo ipso долженъ усилиться регрессивный метаморфозъ. А потому, слѣдуетъ ожидать, что при движеніи раздраженнаго листа черешковое утолщеніе сдѣлается отрицательнымъ по отношенію къ другимъ отдѣламъ листа, принимающимъ меньшее участіе въ процессѣ, или же къ другимъ нераздраженнымъ листьямъ,—что и оказывается на дѣлѣ.

Такимъ образомъ, при отведеніи отъ этого и какого-нибудь другого листа, получится токъ, направленіе котораго въ самомъ растеніи будетъ отъ перваго мѣста ко второму. Токъ этотъ держится очень долго послѣ того, когда растеніе пришло уже въ покойное состояніе. Поэтому и на растеніяхъ, находившихся уже долгое время въ состояніи покоя, приходится часто наблюдать очень сильные токи въ томъ же направленіи. Кункель при отведеніи отъ верхней части главнаго черешковаго утолщенія и одного изъ шиповъ, расположенныхъ у мѣста прикрѣпленія листа, получалъ токи, электромоторная сила которыхъ доходила до 0,1D., но совершенно безъ основанія называетъ ихъ токами покоя, потому что они могли остаться, какъ послѣдѣйствіе (Nachwirkung) послѣ предшествовавшихъ раздраженій, или послѣ сонныхъ движеній листа (такъ какъ ночью листья мимозы складываются такъ же, какъ и при раздраженіи).

Если теперь отвесть этотъ «токъ покоя» въ гальванометръ, и затѣмъ подвергнуть листъ раздраженію, то въ первый разъ получается небольшое ослабленіе тока, а сейчасъ вслѣдъ затѣмъ болѣе значительное усиленіе его, которое будетъ держаться очень долго. Первая фаза ослабленія есть не что иное, какъ отрицательное колебаніе тока, совершенно аналогичное такому же явленію наблюдаемому на мышцахъ, и происходитъ вслѣдствіе распространенія раздраженія также и на область положительнаго электрода; но вслѣдъ затѣмъ диссимиляціонный процессъ, сопровождающій уменьшеніе тургесценціи у основанія черешка, береть верхъ, и происходитъ усиленіе тока, идущаго отъ этого послѣдняго мѣста.

Такой же порядокъ явленій наблюдается при движеніяхъ листа мухоловки (Dionaea muscipula).

Листъ діонеи состоитъ изъ двухъ половинъ, по формѣ представляющихъ четыреугольникъ, раздѣленныхъ бороздкою, въ которой проходитъ главный нервъ листа, составляющій продолженіе черешковаго сосудисто-нервнаго пучка, отъ котораго отходятъ къ обѣимъ половинамъ листовой пластинки многочисленные боковые нервы. На поверхности каждой изъ половинъ листа сидятъ по 3 волоска, которые находятся въ связи съ паренхимными клѣтками, лежащими подъ кутикулой верхней поверхности листа. Эти клѣтки по строенію похожи на вышеописанныя клѣтки въ черешковомъ утолщеніи мимозы, сильно тургесцированы, и между ними находятся большія межклѣточныя пространства. Вся верхняя поверхность листа обладаетъ раздражимостью, но главнымъ образомъ это свойство присуще тремъ волоскамъ, при прикосновеніи къ которымъ листъ немедленно закрывается, причемъ обѣ его 4-угольныя пластинки плотно прикасаются другъ къ другу своими внутренними поверхностями.

Процессъ, происходящій при этомъ въ паренхимѣ листа, состоитъ, какъ и у мимозы, въ томъ, что тургоръ клѣтокъ верхней поверхности быстро уменьшается вслѣдствіе того, что

содержащаяся въ нихъ вода выжимается въ межклѣточныя пространства, клѣтки же нижней поверхности, тургоръ которыхъ остался безъ измѣненія, стремятся раздвинуться и производятъ такимъ образомъ смыканіе листа. (Это наглядно можно видѣть, если отмѣтить по двѣ точки на верхней и нижней поверхности листа,—точки на верхней поверхности сближаются, а на нижней раздвигаются). Такимъ образомъ, при движеніи листа мухоловки активную роль играютъ только клѣтки верхней его поверхности. Поэтому слѣдуетъ ожидать, что при раздраженіи и слѣдующемъ за нимъ движеніи листа мухоловки верхняя поверхность его будетъ становиться электро-отрицательной по отношенію къ нижней.

Бурдонъ-Сандерсонъ доказалъ, что такъ дѣйствительно и бываетъ на дѣлѣ. Свои опыты онъ производилъ такимъ образомъ, что на одной половинѣ листа къ двумъ лежащимъ другъ противъ друга точкамъ верхней и нижней поверхности были приложены неполяризующіеся электроды, при помощи которыхъ листъ раздражался отдѣльными индукціонными ударами, а отъ двухъ такимъ же образомъ установленныхъ электродовъ на другой половинѣ листа отводился токъ въ гальванометрѣ. Весь листъ при этомъ укрѣплялся такъ, чтобы онъ на самомъ дѣлѣ двигаться и закрываться не могъ, такъ какъ наблюденія показали, что электромоторныя явленія при раздраженіи листа происходятъ совершенно въ одинаковомъ порядкѣ и съ одинаковой силой, независимо отъ того, движется ли листъ на самомъ дѣлѣ, или же движенія его воспрепятствованы. При этомъ оказалось, что при каждомъ раздраженіи верхняя поверхность листа становилась болѣе отрицательной по отношенію къ нижней. Такимъ образомъ въ листѣ появлялся токъ, идущій отъ верхней поверхности его къ нижней; этотъ токъ долго держится и по прекращеніи раздраженія (Nachwirkung) [1]).

[1]) Слѣдуетъ замѣтить, что Б.-С. при только что описанной постановкѣ опыта наблюдалъ постоянно кромѣ указаннаго «тока дѣйствія» еще рядъ болѣе слабыхъ колебаній его съ перемѣнными знаками—то въ ту, то въ другую сторону. То же самое наблюдается и на мимозѣ. Но входить въ объясненіе этихъ колебаній съ точки зрѣнія электро-химической теоріи было бы прежде-

Б.-Сандерсонъ ставилъ опыты съ раздраженіемъ листа діонеи и другимъ образомъ, а именно, отводилъ токъ отъ симметричныхъ точекъ обѣихъ половинъ листа, а электроды раздражающаго индукціоннаго тока прикладывалъ только у одной изъ этихъ отводимыхъ точекъ. Во всѣхъ этихъ случаяхъ при каждомъ раздраженіи дѣлался сначала отрицательнымъ электродъ, расположенный у раздражаемаго мѣста, т. е. токъ направлялся въ самомъ листѣ отъ мѣста раздраженія, а затѣмъ, когда волна раздраженія доходила до другого электрода, то отрицательнымъ дѣлался этотъ послѣдній, и токъ шелъ въ обратномъ направленіи. Такимъ образомъ получался настоящій фазисный токъ, какой Германъ наблюдалъ на мышцахъ (стр. 25). При такой постановкѣ опыта возможно вычислить и скорость, съ которою движется волна раздраженія въ листѣ мухоловки: она оказалась равной около 200 mm. въ секунду.

Остановившись нѣсколько дольше на описаніи явленій, сопровождающихъ движенія листьевъ мимозы и мухоловки, обратимся къ дальнѣйшему разсмотрѣнію электродвигательныхъ явленій, наблюдаемыхъ на растеніяхъ, съ точки зрѣнія нашей теоріи.

Въ тканяхъ животныхъ продукты регрессивнаго метаморфоза немедленно поступаютъ въ кровяной потокъ и быстро разносятся по всему тѣлу. Благодаря этому исключается возможность болѣе значительнаго накопленія ихъ въ одномъ мѣстѣ. Поэтому, когда животный организмъ находится въ покоѣ, то всѣ точки его тѣла находятся почти въ изоэлектрическомъ состояніи, т. е. при отведеніи въ гальванометръ не удается констатировать замѣтной разности потенціаловъ въ двухъ различныхъ точкахъ, несмотря на то, что всякій покой, разумѣется, только относителенъ и въ организмѣ безпрерывно совершается цѣлый рядъ процессовъ обмѣна, которые немедленно проявились бы при соотвѣтственномъ отведеніи въ

временно, въ виду недостаточности нашихъ свѣдѣній относительно тѣхъ интимныхъ химико-физическихъ процессовъ, которые совершаются при этомъ въ листѣ. Весьма вѣроятно, что при этомъ извѣстную роль играютъ и фильтрационные процессы въ листѣ, которые могутъ обусловить появленіе діафрагмальныхъ токовъ Кюнне (Ср. Т. Вяземскій. Электрическія явленія растеній. Часть I. Москва, 1901 г.).

видѣ электрическихъ токовъ, не будь этого выравнивающаго дѣйствія кровообращенія.

Совсѣмъ иначе обстоитъ дѣло относительно растеній. Здѣсь нѣтъ кровообращенія, циркуляція соковъ совершается весьма медленно, а потому продукты метаморфоза необходимо будутъ скопляться въ большемъ или меньшемъ количествѣ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ происходитъ ихъ образованіе. А это повлечетъ за собой длительную разность потенціаловъ между тѣми мѣстами, гдѣ метаморфозъ различенъ по своему характеру или по интенсивности. И притомъ тѣ мѣста, гдѣ диссимиляція совершается сильнѣе, должны быть отрицательными по отношенію къ мѣстамъ съ менѣе энергичнымъ метаморфозомъ.

Имѣющіеся въ нашемъ распоряженіи скудные факты относительно токовъ, получающихся при отведеніи въ гальванометръ отъ различныхъ частей растеній, подверждаютъ такое предположеніе. А именно, оказывается, что органы, богатые каѣточной паренхимой, относятся отрицательно къ менѣе сочнымъ и болѣе деревянистымъ частямъ. Такимъ образомъ, пластинка листа отрицательна по отношенію къ нервамъ, а каждый изъ боковыхъ нервовъ отрицателенъ по отношенію къ главному; листья отрицательны по отношенію къ стеблямъ (Кункель). Весьма сильною отрицательностью по отношенію какъ къ листьямъ, такъ и къ стеблямъ обладаютъ, по наблюденіямъ Гааке [1]), половые органы цвѣтущихъ растеній, т. е. особенно интесивно дышащія части растеній; напримѣръ, при отведеніи отъ тычинки или пестика и стебля цвѣтка Гааке получалъ разности потенціала въ 3—4 раза больше тѣхъ, которыя получаются на листьяхъ. Съ другой стороны, органы, отличающіеся инертностію окислительныхъ процессовъ, какъ напр., сѣмядоли проростающаго ростка гороха, служащія почти исключительно какъ складъ питательнаго матеріала для молодого растенія, сильно положительны по отношенію ко всѣмъ прочимъ частямъ, выше и ниже ихъ лежащимъ (Германъ), т. е. и къ листьямъ, и къ корешку. Исключеніе представляютъ только корни, которые отрицательны по отношенію къ вышележащимъ зеленымъ частямъ растенія (см. ниже).

[1]) O. Haake. Flora 1892. S. 454 ff.

Весьма большой интересъ въ отношеніи вліянія на токи химическихъ процессовъ, совершающихся въ отводимыхъ частяхъ растенія, представляютъ опыты Гааке съ вліяніемъ на токи прекращенія дыханія. Гааке помѣщалъ листъ вмѣстѣ съ его стеблемъ въ стеклянную трубку, отводилъ токъ отъ листа (—) и стебля (+), затѣмъ вытѣсняя изъ трубки воздухъ водородомъ. Электромоторная сила тока сейчасъ же падала, когда же опять впускался воздухъ, снова увеличивалась, достигая прежней величины. Если воздухъ вытѣснялся только изъ области приложенія одного электрода [1]), то отрицательность этой части немедленно падала. Такимъ образомъ, если воздухъ отнимался отъ верхней, отрицательной части, то токъ немедленно падалъ, иногда до нуля, и даже измѣнялъ направленіе, а если только отъ нижней, положительной, то она становилась еще болѣе положительной, и токъ усиливался, иногда очень значительно.

Такимъ образомъ, части растенія съ болѣе живымъ обмѣномъ оказываются отрицательными по отношенію къ участкамъ болѣе инертнымъ. Въ кажущемся противорѣчіи съ этимъ стоитъ уже давно установленный Габерландомъ фактъ, что корни и всѣ внутреннія части растеній отрицательны по отношенія къ наружнымъ поверхностямъ вѣтвей, листьевъ, цвѣтовъ и плодовъ. Но это легко можно понять, если принять во вниманіе то обстоятельство, что во внутреннихъ частяхъ растенія концентрація углекислоты, происходящей при процессахъ окисленія, вслѣдствіе затруднительнаго выдѣленія, должна быть вообще больше, чѣмъ вблизи поверхности, гдѣ происходитъ ея выдѣленіе наружу или ассимиляція при помощи солнечнаго свѣта. Вслѣдствіе этого внутри растенія долженъ существовать постоянный токъ углекислоты изъ внутреннихъ частей къ наружнымъ, а равно изъ корней къ стеблю и листьямъ, благодаря чему внутреннія части и будутъ отрицательны по отношенію къ наружнымъ, а корни по отношенію къ стеблю и листьямъ.

[1]) Для этого стеклянная трубочка раздѣлялась на двѣ несообщающіяся половины при помощи вылитой гипсомъ перегородки, такъ что пластинка листа оставалась въ одной половинѣ трубки, а стебель въ другой.

До сихъ поръ мы разсматривали регрессивный метаморфозъ и появляющіеся при этомъ продукты кислотнаго характера, какъ единственный источникъ, обусловливающій неодинаковость электрическаго потенціала на различныхъ частяхъ растенія. Но въ то время, какъ въ обмѣнѣ животной клѣточки рѣшительно преобладаютъ процессы диссимиляціи, состоящіе въ разщепленіи и окисленіи сложныхъ бѣлковыхъ и углеводныхъ группъ, въ растительныхъ клѣткахъ рядомъ съ этимъ совершается еще обратный процессъ — созиданія сложныхъ бѣлковыхъ, углеводныхъ и жировыхъ частицъ изъ молекулъ болѣе простыхъ органическихъ и неорганическихъ веществъ. А между тѣмъ эти два процесса, ассимиляція и диссимиляція, должны производить совершенно противоположныя вліянія на развитіе электрическаго тока, такъ какъ продукты диссимиляціи—окисленія—веществъ имѣютъ по большей части кислотный характеръ, а потому электрическій токъ долженъ при этомъ идти (въ самомъ растеніи) *отъ мѣста*, гдѣ совершается процессъ; а при ассимиляціи—раскисленіи — получится какъ разъ обратное, потому что уменьшеніе кислотности въ этомъ мѣстѣ вызоветъ диффузію кислоты по направленію къ нему изъ другихъ участковъ, гдѣ кислотность осталась прежняя, благодаря чему сюда же будетъ направленъ и электрическій токъ.

Кромѣ того ассимиляція растеніемъ углекислоты сопровождается, какъ извѣстно, отщепленіемъ кислорода, а кислородъ (благодаря образованію отрицательныхъ іоновъ, ($H_2O+O=2HO$) тоже будетъ производить токъ *по направленію къ тому мѣсту, гдѣ онъ скопился.*

Такимъ образомъ взглядъ Герингъ Бидермана, по которому положительность и отрицательность отводимаго въ гальванометръ мѣста зависитъ отъ преобладанія въ этомъ мѣстѣ ассимиляціонныхъ или диссимиляціонныхъ процессовъ, скорѣе всего можетъ ожидать подтвержденія въ области электрофизіологіи растеній.

Дѣйствительно, имѣются немногочисленные, но несомнѣнные факты, указывающіе на такой двойственный характеръ электрическихъ токовъ растеній, или, какъ часто хотя и неправильно выражаются физіологи,—на то, что между отводящими электродами проходятъ одновременно два тока въ противоположныхъ направленіяхъ, и отъ перевѣса того или другого изъ нихъ зависитъ отклоненіе гальванометра въ ту или другую сторону [1]).

Прежде всего слѣдуетъ здѣсь указать на результаты нѣкоторыхъ опытовъ Гааке съ лишеніемъ растеній воздуха. Только что было сказано, что если отвести токъ отъ пластинки листа (или тычинки цвѣтка) и стебля, то листъ (или тычинка) отрицательны по отношенію къ стеблю; если замѣнить воздухъ водородомъ, не прекращая его доступа къ стеблю, то токъ, вслѣдствіе уменьшенія окислительныхъ процессовъ въ этомъ мѣстѣ и уменьшенія его отрицательности, быстро падаетъ. Но въ нѣкоторыхъ случаяхъ Гааке наблюдалъ не уменьшеніе, а усиленіе тока, по крайней мѣрѣ въ первое время. Такой результатъ получался на тѣхъ растеніяхъ (проростающій ростокъ Vicia Faba), у которыхъ въ противоположность остальнымъ интрацеллюлярное окисленіе значительно преобладаетъ надъ экстрацеллюлярнымъ, т. е., другими словами, у которыхъ регрессивный метаморфозъ долгое время можетъ поддерживаться безъ притока кислорода на счетъ запасовъ ассимилированныхъ ихъ протоплазмой. При такомъ положеніи дѣла, отнятіе кислорода воздуха не оказывало дѣйствія на процессы диссимиляціи, которая продолжалась попрежнему въ той же мѣрѣ. Но удаленіе вмѣстѣ съ воздухомъ находящейся въ немъ углекислоты сказывалось уменьшеніемъ процессовъ ассимиляціи, а такъ какъ ассимиляціонные процессы создаютъ электромоторную силу *по направленію къ листу*, то прекращеніе ихъ необходимо должно было повлечь усиленіе тока, зависящаго отъ окисленія.

Значеніе поглощенія углекислоты въ производствѣ электродвигательной силы растеній сказывается и тѣмъ, что если за-

[1]) Съ физической точки зрѣнія такое выраженіе, разумѣется, совершенно неправильно и указываетъ только на то, что здѣсь имѣются два источника электродвигательной силы, дѣйствующихъ въ противоположномъ направленіи, и получающійся въ результатѣ токъ имѣетъ направленіе болѣе сильнаго изъ нихъ, а по величинѣ электродвигательной силы равенъ разности обоихъ.

темнить листъ, т. е. прекратить ассимиляцію углекислоты, то сила тока падаетъ (Гааке). Но трудно сказать, что въ этомъ опытѣ отнесть насчетъ уменьшенія поглощенія углекислоты, и что просто на уменьшеніе всѣхъ жизненныхъ процессовъ, а слѣдовательно, и дыханія въ темнотѣ; опытовъ же съ прямымъ лишеніемъ углекислоты безъ затемненія (напр. путемъ поглощенія ея щелочью) Гааке не производилъ. Въ послѣднее время вопросомъ о вліяніи свѣта на токи растеній занимался Валлеръ, который нашелъ, что при экспозиціи на свѣтъ листа, половина котораго закрыта черной бумагой, незакрытая половина оказывается отрицательной по отношенію къ затемненной. Объясняетъ онъ это раздражающимъ дѣйствіемъ свѣта. Больше всего дѣйствуютъ красные лучи спектра [1]).

Однако въ настоящее время еще трудно высказать окончательное сужденіе о томъ вліяніи, которое долженъ оказывать процессъ ассимиляціи углекислоты на электрическіе токи растеній. Объясняется это, съ одной стороны, вообще бѣдностью нашихъ свѣдѣній относительно внутренняго механизма обмѣна веществъ въ растеніяхъ, а съ другой—тѣмъ обстоятельствомъ, что до сихъ поръ никто не занимался изученіемъ вліянія обмѣна веществъ и другихъ жизненныхъ свойствъ растеній на электрическіе токи ихъ систематически. Гааке, опыты котораго приводились выше, тоже не ставилъ себѣ въ этомъ смыслѣ опредѣленной задачи, а только хотѣлъ опровергнуть теорію Кункеля, по которой всѣ токи растенія происходятъ вслѣдствіе перемѣщенія воды внутри его. Поэтому онъ стремился доказать вообще, что электромоторная дѣятельность растенія есть его жизненная функція, и какъ всѣ жизненныя функціи стоитъ въ прямой зависимости отъ обмѣна, но въ детальную оцѣнку характера вліянія каждаго отдѣльнаго фактора (O_2, CO_2, T и т. д.) Гааке не входитъ.

Вообще же должно сказать, что изученіе электромоторной дѣятельности растеній, по причинѣ недостаточнаго нашего знакомства съ деталями совершающихся внутри растенія физіологическихъ процессовъ, во многихъ отношеніяхъ затруднительнѣе изученія этихъ явленій на животныхъ. Напримѣръ, при нынѣшнихъ нашихъ свѣдѣніяхъ было бы совершенно преждевременно входить въ подробное объясненіе такихъ фактовъ, какъ вліяніе смачиванія водою. Извѣстно, напримѣръ, что если на нѣсколько часовъ положить свѣжій листъ въ воду, то токъ его извращается, т. е. стебель дѣлается отрицательнымъ по отношенію къ пластинкѣ. Если какое-нибудь мѣсто листа смочить даже на очень короткое время водою (достаточно положить одинъ неполяризующійся влажный электродъ нѣсколько раньше другого), то смоченное мѣсто становится болѣе положительнымъ (Кункель). Болѣе нагрѣтое мѣсто положительнѣе къ менѣе нагрѣтому (Гааке).

Первое явленіе, быть можетъ, объясняется тѣмъ обстоятельствомъ, что благодаря смачиванію диффузія угольной кислоты изъ листа наружу, слѣдствіемъ чего и является увеличеніе положительности (выходящій токъ) смоченнаго мѣста. Что касается до дѣйствія теплоты, то оно аналогично съ таковымъ же дѣйствіемъ на мышцы (гл. IV).

Будущему изслѣдователю открывается тутъ очень широкое поле.

Особый интересъ имѣютъ также токи, наблюдаемые на железистыхъ органахъ насѣкомоядныхъ растеній. Бидерманъ наблюдалъ [1]) на многихъ видахъ росянки (Drosera), при отведеніи отъ густо покрытой маленькими железками поверхности листа и какой-нибудь индифферентной точки на стеблѣ, значительныя разности потенціаловъ. Но этотъ вопросъ еще очень мало изученъ.

[1]) Comptes rend. de la soc. de biologie. 1900. pp. 342—343 и 1013—1095.

[1]) Op. cit. S. 466.

Слѣдуетъ исправить.

а) На стр. 54, въ 6 строкѣ сверху напечатано: $\frac{RTM}{96600}$, вмѣсто: $\frac{RTM}{96600n}$.

б) На стр. 56, въ 11 строкѣ снизу напечатано: v=60, вмѣсто: v=63.

в) На стр. 57, въ 5 строкѣ сверху напечатано: v=60, вмѣсто: v=62.

г) На стр. 110, въ 7 строкѣ снизу напечатано: 0,43 log 6,5, вмѣсто: 0,043 log 6,5.

д) На стр. 123, въ таблицѣ напечатано: «электро-магнитная сила» вмѣсто «электродвигательная сила» и 76,25—вмѣсто 26,25.

е) На стр. 153, въ примѣчаніи напечатано: гл. VI и VII, вмѣсто: гл. VI и VIII.

ж) На стр. 168 и 173, въ формулахъ (1), (2), (3) и (4) вмѣсто отношенія разстояній отъ вершины конуса: $\frac{H}{H_1}$ — должно быть обратное отношеніе: $\frac{H_1}{H}$.

з) На фигурѣ 19, на 223 стр. стрѣлки *a* не должно быть совсѣмъ (тока нѣтъ).

и) На стр. 235, въ 16 строкѣ снизу напечатано: «опутывающія» вмѣсто «окутывающія».

к) На стр. 260, въ 1 прим. вмѣсто «дѣйствительный эффектъ» должно быть «двойственный эффектъ», и вмѣсто «ассимиляція»— «ассимиляціи».

ОГЛАВЛЕНІЕ.

Предисловіе.

стр.

Глава первая. Краткій историческій обзоръ 2

Взгляды старыхъ авторовъ: Гауэнъ, Кавендишъ и др., 2—4. Открытіе Гальвани, 5. Споръ между Гальвани и Вольта, 6—10. Открытіе Нобили восходящаго тока лягушки, 11. Работы Маттеучи, 12—13. Установленіе Дю-Буа Реймономъ законовъ мышечнаго тока, 13—15. Молекулярная теорія Дю-Буа Реймона, 16—20. Возраженія противъ нея и ученіе Дю-Буа Реймона о пареэлектротоническомъ состояніи, 21—23. Теорія Германа, 23—26. Споръ между Дю-Буа Реймономъ и Германомъ, 26—31. Теорія Ранке и Грэнгагена, 32. Взгляды Бекереля и Кункеля, 33. Теорія Геринга-Бидермана и Бернштейна, 33. Общій взглядъ на развитіе электрофизіологическихъ воззрѣній, 34—36.

Глава вторая. Возникновеніе и проведеніе электрическаго тока въ растворахъ по теоріи свободныхъ іоновъ Аррениуса 37

Ученіе Вант-Гоффа объ аналогіи между осмотическимъ давленіемъ растворовъ и давленіемъ газовъ, 37—39. Теорія диссоціаціи въ растворахъ электролитовъ Аррениуса, 40—41. Проведеніе электрическаго тока въ растворахъ по теоріи диссоціаціи, 42—44. Скорость іоновъ, 45. Возникновеніе тока въ гальваническихъ элементахъ съ точки зрѣнія теоріи Аррениуса, 46—47. Концентраціонныя цѣпи, 48—51. Вычисленіе электродвигательной силы концентраціонныхъ цѣпей по Нернсту, 52—56. Формула Планка для растворовъ, содержащихъ нѣсколько электролитовъ, и слѣдствія изъ нея вытекающія, 57 — 58 Электродвигательная сила цѣпей изъ нѣсколькихъ соприкасающихся растворовъ, содержащихъ одни и тѣ же іоны, но въ различной концентраціи, 59. Вліяніе степени диссоціаціи на электродвигательную силу, 60—61. Нѣкоторыя условія, вліяющія на диссоціацію растворовъ, 62—63. Диссоціація водныхъ растворовъ газообразныхъ электролитовъ, 64—66.

Глава третья. О химическомъ источникѣ электрическихъ токовъ въ живыхъ тканяхъ 67

Взгляды Дю-Буа Реймона и Германа, 67—68. Продукты регрессивнаго метаморфоза, могущіе обусловить появленіе концентраціонныхъ токовъ въ живыхъ тканяхъ, 69—70. Роль угольной кислоты, 71—74. О состояніи угольной кислоты внутри живой ткани, 75—78. Вліяніе соединенія CO_2H_2

стр.

съ бѣлкомъ на величину могущаго возникнуть концентраціоннаго тока, 78—82. Причина кислой реакціи мышечнаго вещества при дѣятельности, 82. Молочная и фосфорная кислота, 83. О степени диссоціаціи угольной кислоты или ея бѣлковаго производнаго внутри живой ткани и вліяніе этого обстоятельства на величину тока, 84—91. Вліяніе на электромоторную силу возникающихъ въ живой ткани концентраціонныхъ токовъ со стороны другихъ веществъ, растворенныхъ въ тканевыхъ жидкостяхъ, 92—94. Выводы, 95.

Глава четвертая. Токи, наблюдаемые на правильно построенныхъ мышцахъ 96

Распредѣленіе потенціъ токовъ на поверхности правильнаго мышечнаго цилиндра по Дю-Буа Реймону, 96—104. Теоріи Германа, 104. Угольная кислота, какъ причина демаркаціоннаго тока, 105. Количество угольной кислоты, вырабатываемое раздраженными мышечными веществомъ, 106—108. Вычисленіе электромоторной силы демаркаціоннаго тока, 109—110. Дѣйствительно находимая величина ея и причины неполнаго совпаденія ея съ теоретически вычисленной, 111—114. Токи при отведеніи отъ двухъ точекъ поперечнаго разрѣза, 114—115. Токи продольной поверхности, 116—119. Работы проф. Чирьева и д-ра Самойлова, 119—123. Угасаніе электромоторной силы демаркаціоннаго тока по времени, 124. Отрицательное колебаніе тока, 124. Положительное колебаніе, извращеніе тока и вторичныя электромоторныя дѣйствія, 125—126. Температурныя колебанія, 127—129. Дѣйствіе ядовъ, 130—134.

Глава пятая. Токи наклоненія 135

Суммированіе потенціъ токовъ при наклонномъ поперечномъ разрѣзѣ по Дю-Буа Реймону, 135—137. Взгляды Германа, 138. Положеніе мышечнаго экватора при токахъ наклоненія, 139—140. Слабыя стороны теоріи Дю-Буа Реймона и Германа, 141—144. Токи, наблюдаемые при частичномъ вытяганіи мышцы, 145. Объясненіе токовъ наклоненія неравномѣрнымъ накопленіемъ угольной кислоты у тупыхъ и острыхъ угловъ косо-перерѣзанной мышцы, 146—150. Сравненіе вычисленныхъ величинъ съ наблюдаемыми въ дѣйствительности, 151. Приготовленіе препаратовъ и способъ производства измѣреній, 152—155. Наиболѣе отрицательное мѣсто поперечнаго разрѣза, 156.

Глава шестая. Токи конусообразныхъ мышцъ 157

Взгляды Дю-Буа Реймона и Германа и возраженія, которыя могутъ быть сдѣланы противъ нихъ, 157—161. Объясненіе токовъ конусообразныхъ мышцъ неравномѣрнымъ накопленіемъ угольной кислоты, вырабатываемой распредѣленнымъ поверхностью, внутри мышечнаго конуса, 162—168. Сравненіе вычисленныхъ величинъ съ наблюдаемыми въ дѣйствительности, 168—170. Суммированіе отдѣльныхъ паденій потенціала внутри конусообразныхъ мышцъ, 171—173. Величина электродвигательной силы токовъ, наблюдаемыхъ на иконосныхъ мышцахъ лягушки при различныхъ отведеніяхъ отъ поверхности, и въ зависимости отъ другихъ условій, 174—179. Способъ приготовленія препарата иконосной мышцы для производства измѣреній, 180—

стр.

183. Причина отсутствія тока при кратковременномъ дѣйствіи раздражителя на поверхность мышцы и извращеніе тока, 184—185. Угасаніе тока во времени, 186—187. Условія, способствующія распредѣленію угольной кислоты внутри мышечнаго конуса согласно выведенному закону, 188—190.

Глава седьмая. Нѣкоторыя особенности электрической диффузіи внутри неоднородныхъ влажныхъ проводниковъ и явленія мышечнаго тока, стоящія въ связи съ ними 191

Возможность двухсторонней диффузіи при отведеніи тока посредствомъ глиняныхъ неполяризующихся электродовъ, 192. Двухсторонняя диффузія въ ряду нѣсколькихъ соприкасающихся растворъ разной концентраціи и условія, могущія вліять на нее, 193—197. Опыты съ диффузіей черезъ матеріалъ съ различной диффузіонной проницаемостью, 197—201. Возникновеніе электродвигательной силы въ цѣпи, состоящей изъ однихъ влажныхъ проводниковъ, 201—202. Сущность понятія о демаркаціонной плоскости на границѣ между умирающей и живой протоплазмой и причина отсутствія тока при раздраженіи мышцы in toto, 203—207. Теоріи, касающіяся вопроса о диффузіонныхъ перепонкахъ: взгляды Траубе, Оствальда и Таммана, 208—209. Опыты Байна и Окерблома, 209—211. Параллель съ проводниками „третьяго класса“ Вольта, 212. Измѣреніе электродвигательной силы концентраціоннаго тока посредствомъ глиняныхъ неполяризующихъ электродовъ, 213.

Глава восьмая. Опыты на моделяхъ 214

Наиболѣе простая форма опыта съ возникновеніемъ разности потенціала на границѣ соприкосновенія двухъ растворовъ неодинаковой концентраціи, 215. Вліяніе частичнаго смачиванія мышцы и нерва растворами различной концентраціи, 215. Опыты Бидермана и Макдональда, 216. Изслѣдованія Окерблома, 217—219. Невозможность получить токъ при отведеніи отъ смоченной кислотой поверхности модели конусовидной мышцы, 220—221. Опыты съ воронкой и фильтромъ, 222—224. Опыты съ желатинными моделями, 225—227. Роль отдѣльныхъ тканей, входящихъ въ составъ мышцы, при выработкѣ угольной кислоты и распредѣленіи ея по поверхности мышцы и распредѣленія ея внутри мышечнаго конуса, 228—230. Сравненіе раздраженной поверхности конусообразной мышцы съ поверхностью модели, усыпанной кристаллами какой-нибудь кислоты, 231. Условія для суммированія отдѣльныхъ паденій потенціала внутри конусообразной мышцы и на поверхности косого поперечнаго разрѣза при токахъ наклоненія, 232—236.

Глава девятая. Электромоторная дѣятельность железъ. 237

Электромоторныя явленія на поверхности кожи лягушки, 237. Взгляды Дю-Буа Реймона, Германа и Энгельмана, 238—240. Общая схема строенія железъ и условія для появленія въ нихъ диффузіонныхъ токовъ, 240—244. Условія, могущія вліять на электродвигательную силу и направленіе железистыхъ токовъ, 245—246. Вліяніе неодновременнаго наложенія отводящихъ электродовъ, 246. Опыты Энгельмана и Бидермана о вліяніи на токи кожи и слизистыхъ оболочекъ лягушки смачиванія растворами различ-

ной концентраціи, 247. Объясненія съ точки зрѣнія диффузіонной теоріи, 248—250. Железы со щелочнымъ и съ кислымъ секретомъ, 250—252. Токи слизистой оболочки желудка, 253. Изслѣдованія Болена, 254—255. Вліяніе раздраженія на кожные токи лягушки, 256. Работы Рёбера, Энгельмана, Германа, Бидермана, Вартанова и др., 256—259. Наиболѣе вѣроятное объясненіе, которое можетъ быть дано найденнымъ фактамъ, 259—260. Токи слюнныхъ железъ у млекопитающихся, 261—262. Опыты проф. Тарханова надъ кожными токами у человѣка, 263.

Глава десятая. Электрическіе органы рыбъ 264

Старыя наблюденія касательно электрическихъ рыбъ, 264. Развитіе электрическаго органа изъ метаморфозированныхъ мышцъ или железъ, 265. Устройство электрическаго органа у электрическаго ската (Torpedo), 266—268. Электрическій органъ угря (Gymnotus electricus), 269—272. Менѣе дифференцированные органы обыкновенныхъ скатовъ (Raja) и нильской щуки (Mormyrus), 273. Органъ электрическаго сома (Malopterurus electricus), 274—275. Электрическая пластинка, какъ генераторъ электрической энергіи органа, 275—277. Взгляды Дю-Буа Реймона и Германа, 278. Роль пластинки въ развитіи диффузіоннаго электрическаго тока въ органѣ, 278—281. Концентраціонная схема электрическаго органа, 282—286. Электромоторная сила пластинки и органа, 287—288. Разрядъ органа, 288—289. Токъ покоя (Ruhestrom) и вторичные электромоторные дѣйствія органа, 290—291. Нечувствительность электрическихъ рыбъ къ электрическимъ токамъ, 292—293.

Глава одиннадцатая. Электрическія явленія въ растеніяхъ 294

Взгляды Дю-Буа Реймона и Германа, 294. Діафрагмальная теорія Кункеля, 295. Концентраціонная теорія, 296. Токи, наблюдаемые при движеніи листьевъ мимозы и мухоловки, 297—300. Токи при отведеніи отъ различныхъ частей растенія и ихъ объясненіе съ точки зрѣнія концентраціонной теоріи, 302. Опыты Гаазе, 303. Роль ассимиляціонныхъ процессовъ въ развитіи электрическихъ токовъ растеній, 304. Вліяніе лишенія кислорода и углекислоты по опытамъ Гаазе и Валлера, 305—306. Вліяніе на силу тока смачиванія водою и нагрѣванія, 307. Токи, наблюдаемые на железистыхъ органахъ насѣкомоядныхъ растеній, 307.

Инв. № | НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА 1-го Харьк. Мед. Института

ПОЛОЖЕНІЯ.

1. Колебанія электрическихъ токовъ железъ могутъ служить тончайшимъ указателемъ совершающагося въ железѣ физіологическаго процесса.

2. Терапевтическій эффектъ электризаціи зависитъ исключительно отъ раздражающаго дѣйствія электричества на живую ткань.

3. Парасифилитическія заболѣванія центральной нервной системы суть страданія вторичныя, развивающіяся на почвѣ предшествовавшаго пораженія соединительнотканной части ея.

4. Въ цѣляхъ преподаванія, изъ курса физіологіи слѣдуетъ выдѣлять общую, біологическую часть, чтеніе которой можетъ начинаться съ перваго же курса.

5. Столь распространившаяся въ настоящее время въ русской медицинской литературѣ мода писать имена иностранныхъ авторовъ не по-русски, введенная яко-бы съ цѣлью научить русскихъ врачей правильному иностранному произношенію, повела только къ тому, что теперь многіе изъ насъ не умѣютъ совсѣмъ никакъ называть нѣкоторыхъ даже выдающихся представителей иностранной науки.

6. Экзамены на степень доктора медицины въ той формѣ, въ какой они теперь производятся, представляютъ безполезную формальность, непроизводительно отнимающую у каждаго докторанта 1—2 года въ періодъ самой горячей работы.

Curriculum vitae.

Василій Юрьевичъ Чаговецъ, православнаго вѣроисповѣданія, родился въ 1873 году. Среднее образованіе получилъ въ Кіевской 2-й гимназіи, по окончаніи которой въ 1892 году поступилъ въ Императорскую Военно-Медицинскую Академію, которую окончилъ въ 1897 году, со степенью лекаря. Высочайшимъ приказомъ по военному вѣдомству о чинахъ гражданскихъ, отъ 30 ноября 1897 года, назначенъ младшимъ врачемъ въ 175-й, нынѣ 186-й пѣхотный резервный Луковскій полкъ. Состоя на службѣ въ полку, во время лагерныхъ сборовъ 1899 года временно исполнялъ обязанности старшаго врача, а осенью того же года былъ командированъ на наборъ въ городѣ Брезины, Петроковской губерніи. Высочайшимъ приказомъ, отъ 23 апрѣля 1900 года, зачисленъ въ запасъ по военно-медицинскому вѣдомству, гдѣ состоитъ и нынѣ.

Экзамены на степень доктора медицины сдалъ при Императорскомъ Варшавскомъ университетѣ въ 1898—1899, 1900—1901 и 1901—1902 учебныхъ годахъ.

Настоящую работу подъ заглавіемъ: «Очеркъ электрическихъ явленій на живыхъ тканяхъ съ точки зрѣнія новѣйшихъ физико-химическихъ теорій» представляетъ въ качествѣ диссертаціи на степень доктора медицины. Главнѣйшія положенія этой работы были опубликованы въ Журналѣ Русскаго Физико-Химическаго Общества за 1896 годъ (№№ 5 и 7) и въ Неврологическомъ Вѣстникѣ за 1898 годъ (вып. I и II).