

135
3

Архитектура компактнаго вещества
кости съ механической точки зрѣнія.

Профессора Д-ра Мед. Ник. Корниловича.



Юрьевъ.

Типографія К. Маттисена.

1904.

Архитектура компактного вещества кости с механической точки зрения.

На сей предмет много говорится, особенно с точки зрения, но только на словах трудно понять всю сложность и определить точную картину.

В. Марк.

Презентатора гистологического института доктора Н. Корнилова. Доклад читаный на заседании Общества в годовщину рождения К. Э. Фабия 17 февраля 1908 года.

Несмотря на то, что костная ткань с давних пор подвергалась гистологическому исследованию, тонкое строение ее было ближе научно только во второй половине минувшего столетия, причиной такого обстоятельства было настолько несовершенство прежних микроскопов, сколько несовершенство техники, а между тем изучение этой ткани, способной выдерживать громадные давления, (ишь тела, ношение тяжести, сопротивление излому и т. д.) особенно интересно потому, что мы найдем čím в какой либо другой ткани выступают механические принципы построения на основу строения, справедливо вызывающие глубокое внимание и восхищение каждого мыслящего анатома или гистолога. Осири или „оруба“, составленный из особых плотных органов, называемых костями, образует внутренний скелет позвоночных животных, на котором располагаются и прикрепляются все мягкие части организма. Величиной скелета определяется рост животного, кости образуют полость его тела, кости конечностей образуют

рычаги и, благодаря этому, играют важную роль в locomotorном спардэй, при том все устройство скелета и составляющие его кости настолько согласовано с данными механики, что, по выражению Марей¹⁾, „механика может перечислить всевозможные явления в изучении природы, которая ему много раз укажет, как самая сложная задача могут быть решены с удивительной простотой“²⁾. И действительно, изучение механики животного организма, кроме конитного громадного теоретического интереса, может быть полезно и в практическом отношении. „Человік, говорит Марей, из устройств скелетов для мореплаванія, очевидно был вдохновлен самой природой. Устройство подводной части корабля, вытесненной по образцу плавни площади, изобретение парусов и весел, изобретение крылатых лодок, раздумывавших втросе и его перепончатой ланн, ударились по водѣ — составляють только часть того, что замечательно искусство у природы. Волне духоты зѣта тому назады Борелли, изучая уселія положенія и перемѣненія рыба, начерталъ планъ корабля — подолзла, построеннаго по образцу страшныхъ мониторовъ, появившихся въ недавнее американскую войну“. Приводимъ также, что изучене полета птицъ послужило толчкомъ къ изобрѣтенію аэлага ряда остроумныхъ „летательныхъ машинъ“, прослѣдуетъ будующимъ „аэроходамъ“, постройка которыхъ для практическаго пользованія на благо человечества есть только вопросъ времени. Кинематика или механика движеній нѣтъ въ биологіи уже потонувшую литературу; въ этомъ изслѣдованіи им не будемъ касаться ей, а займемся статикой животнаго вещества и посмотримъ какими природа создала кости, чтобы удовлетворить основному закону ихъ опредѣленъ, закону, который профессоръ Десгафть³⁾ формулируетъ такъ: „кости построены такими образомъ, чтобы съ наибольшей крѣ-

костью соединить наибольшую легкость и наименьшую затрату матеріала, устранивъ при этомъ, по возможности, также и вліяніе всякаго сотрѣсенія отъ толчка, получаемого при движеніи. Это основной законъ архитектуры всей костной системы“⁴⁾. Крѣпость и упругость костей можно свести къ четыремъ причинамъ: ихъ крѣпость и упругость зависятъ:

- 1) отъ вещества, изъ котораго онѣ построены,
- 2) отъ формъ костей,
- 3) отъ микроскопическаго ихъ строенія (расположенія губчатого вещества),
- 4) отъ извращеннаго строенія неактивного вещества.

Вещество скѣпныхъ костей желтоватобѣлаго цвѣта, твердо, очень распространено въ животномъ царствѣ, образъ костей скелета еще зубъ; оно встрѣчается нерѣдко у различныхъ животныхъ въ органахъ чувствъ, кожѣ, глазу, сердцѣ, въ дыхательныхъ и въ мужскихъ половыхъ органахъ и представляеть самый сложный надъ соединительной тканью, удѣльный вѣсъ которой, по Рауберу, 1,9304, по Вергейжу, 1,984, — удѣльный вѣсъ губчатой субстанціи 1,997. Вещество кости представляеть очень плотное соединене двухъ главнѣйшихъ составныхъ частей: органической субстанціи — такъ называемаго осемена и неорганической части. — костныхъ земель т. е. минеральныхъ солей, присутствіе которыхъ кости и обязана своей твердостью. Соединене это, по мнѣнію большинства авторовъ, представляеть лишь тѣсную механическую скѣбу, а не химическое соединене. Отдѣлять эти двѣ составныя части очень легко: если намочить кость (денатурализовать) въ водномъ растворѣ соляной кислоты, то черезъ нѣсколько дней или недѣль, гдѣе по величинѣ кости, соли перейдутъ въ растворъ и мы получимъ кость, хотя и совершенно неактивной формы, но уже съ другими свойствами: она легко рѣжется нажемъ и такъ гибка, что длинную кость можно зажать въ узелъ: получается осеменъ или костный хрящъ — соответствующій нежизноточному веществу кости

1) Б. Марей. Механика животнаго организма. СПб. 1876.

2) Десгафть. Общій анатоміа. СПб. 1885.

в состоянии из однородной аморфной субстанции, с замешанными в ней коллоидными волокнами, вот это то волокнисто-аморфное вещество и было пропитано солями известности; волокна эти при прокаливании кости, сгорают, остаются ходы, в которых они лежали, čím по специальному исследованию Ебнер¹⁾, вопреки мнению Келлика²⁾ и других, доказываются, что сами волокна известности не пропитываются. Благодаря присутствию органического вещества, кости до известной степени гарики, так что, по словам Нутта³⁾, туземцы безбоязненно Фалландских островов варят быка на его собственном костях, также и на пустых, за неимением лучшего топлива, путешественники употребляют сухие кости верблюдов.

Если прокалить кость на очень сильном огне, или выварить ее на крином целлофане растворе, то опять такая форма кости не меняется, остается лишь ее свойство: кости сгоравшие органической субстанции кость делается такой хрупкой, что достаточно малейшего давления, чтобы она разсыпалась в прах. В естественных условиях соединение аморфно-волоконных субстанций до того прочно, что даже с трудом поддается дробному попарному превращению. Ни кипячение, ни амальгмирование не уничтожают мощной органической известности, которое было найдено Дюма в костях, выходящих из одного из гробов Помпеи в количестве 35,5%. Орфел, по словам Гофмана⁴⁾, получал из костей человека 600-летней давности еще около 27% клея и около 15% жира. Удавалось даже добывать органическое вещество из гнид костного клея или гутта, из костей ископаемых животных, давно известных геологическим слоям, путем выпаривания костей под высоким давлением в паровом котле, так например из зуба мамонта было получено

около 30,5% этого вещества. По словам Корфелда, нельзя найти кости никакой разницы между обломками костями и костями стальной давности, в смысле содержания органического вещества. Что касается количественных отношений костной массы и оседающей, то они мало варьируют у различных видов животных, но обычно сильно отличаются с возрастом у одного и того же субъекта (хотя это не истина, например, Ретну). В общем можно сказать, что у ребенка неорганического вещества — $\frac{1}{4}$ веса кости, у взрослого — $\frac{1}{4}$, а у глубокого старика — $\frac{1}{4}$. Оссеина относительно всего меньше в черепных костях. В истолоченных состояниях отношения могут измениться в колоссальных размерах (разлиты, остеомалиция, остеопороз). Желудок плотных способен переварить оссеину, а соли известности выбрасываются кишечником, благодаря чему, заскрекшоты этих животных "d'avis digestif" являются бальмом для желудка. Органическое, бездействие вещество кости есть альбуминоид — коллаген, нерастворимый в спирте, эфире и хлороформе, но растворяющийся в кипящей воде, при чем он превращается, в так называемый, костный клей или гутта, особенно легко получаемый у рыб и амфибий, гораздо труднее у птиц и особенно у млекопитающих; в известной концентрации гутта может застывать в студенистую массу; если нагреть такой студень до 30° C., то он вновь расплавляется. Тонкий раствор гутта нейтральной реакции и дает бурную реакцию; гутта может быть также растворена в щелочах, но не в холодной воде, в которой она только разбухает, в особенности в присутствии уксусной кислоты, также добавками мыла уничтожает преобладание $10\% \text{ NaCl}$. При долгом кипячении в большом количестве воды гутта разлагается на оссеин и гемин, которое тло осаждается спиртом или хлорной кислотой, которыми геминозин не осаждается. При кипячении с щелочью гутта, получается гликокол, лецитин, гуттамоновая кислота, а не тароник. Гутта сильно пристраивает

1) Ebnert. Sind die Fibrillen des Knochengewebes veraltet oder nicht. Archiv f. mikrosk. Anat. Bd. 29.

2) Гофман. Учение судебной медицины. СПб. 1886.

железистости полимеризации казеина. При переэвaporation в вакуумной камере желатинозный соевый раствор переходит в коллоидное состояние, не дающее студия при застывании. Такими производят коллоидное осаждение казеина, поэтому при дроблении казеина в растворе казеина казеина на коллаген. Можно осаждать казеин также в коллоиде, но только в присутствии NaCl и HCl . При кипячении казеина в воде, спирте или феноле не получается. Нагревая казеин в сухом состоянии до 130°C , можно вновь перевести его в коллаген или склеивать с ним вещество, которое, при нагревании с водой, превращается в застывающую желатину, из чего следует, говорит Нерре-Сейлер ¹⁾, что коллаген можно рассматривать, как ангидрид глутина, как тому соответствуют в нем отношения. Химический состав коллагена (из сухого казеина) по Scheerer'у $\text{C} = 60, 44 \%$, $\text{H} = 7,15$, $\text{N} = 18,32$, $\text{O} + \text{S} = 23,75 \%$. Selitrenny, действуя на казеин посредством HCl , H_2O , H_2SO_4 , получил, как продукты распада: метилмеркаптан, глицерин, лецитин, фенолпропионовую кислоту и жирные кислоты, а действуя на то же вещество бензойной синтетической карбонил, кроет выделенные соединения, еще констатировал присутствие и фенолуксусной кислоты. Коллаген является типично анимальным.

Что касается «костной земли», то она образуется из соединения известки с фосфорной и угольной кислотами. Часть известки, не связанная фосфорной кислотой, почти вся связывается угольной, остальная же соединяется с хлором и фтором. Этим объясняется, что в костях кролика углекислой известки находится еще соединения трифосфорной кислоты с кальцием, угольной кислотой и с водой. Соединения в костях следы перил, магния и калия. По Зальескому в костях человека и быка содержатся:

	у человека	у быка
CaO —	32,83	32,89
MgO —	0,48	0,47
P_2O_5 —	38,73	39,89
Ca_2 —	5,73	6,20
Cl —	0,18	0,20
F —	0,47	0,62

Была найдена в бедренной кости 25-ти летнего мужчины:

Основной фосфорнокислой известки и фтористого кальция	59,63
углекислой известки	7,83
фосфорнокислой известки	1,32
растворимых солей	0,69
костного хряща, жира и воды	31,03

Кости заключают в себе достаточное количество воды, находящейся в сосудах газеобразных амальгам, в костных клетках и в ворочивших канальцах (ламеллах). Поэтому присутствие воды чрезвычайно важно для формы кости, что особенно заметно на черепе. Количество воды варьирует, по Schreder'у, скелет собаки содержит ее от 15% до 44%. Количество жира, по тому же автору, достигает до 1,23% 2,68%. Общее количество неорганических частей, по видимому, есть величина очень мало колеблющаяся, можно сказать, почти постоянная для различных животных и человека и равняется 65%—66%, значит на органическое вещество остается 34%—35%, из них, по Нерре-Сейлер'у, 25%—26% приходится собственно на коллаген, а около 8% остается на клетку. Если мы будем рассматривать процентное содержание составных частей кости костной земли, то и тут можно найти известное постоянство, или по крайней мере незначительность вариаций у различных животных. По Зальескому ¹⁾

¹⁾ Нерре-Сейлер and Thierfeld. Физиологическая химия. 6 изд. СПб. 1896 г.

¹⁾ Неймайстер. Учебник физиологической химии. Часть II. СПб. 1901 г.

природа и искусно пользуются во тысячах случаев; здесь, без увеличения веса, крепость значительно повышается, так например: у нашей птицы и у многих других, которые легки и однако же не легко сгибаются и ломаются, так что, если бы стелбы были несущей ногой, более тяжелой чем вся стелба, состояла из той же кости, но была бы при этом массивнее, то она гораздо легче сопротивлялась бы сгибанию и перелому. Форма костей различна так, чтобы устранить риска наибольших переломов и придать им, по возможности, одинаковую способность сопротивления во любой плоскости поперечного сечения. Я позволю себе привести по этому поводу рассуждения проф. Раубера¹⁾, который говорит: „что касается назначения и установок отдельных поддерживающих столбов в рычаговом теле, то сущности и значения их изменяются в зависимости от других форм построения столбов.“ Если взять столбы одинаковой формы и укоротить их нижние концы, то мы можем получить следующие случаи: 1) нижний конец столба укорочен, а верхний свободен, точка перелома будет внизу у точки закрепления, а если нагрузка, производящая перелом, выражается формулой:

$P = \left(\frac{\pi}{24} \right) \frac{WE}{l}$. В этой формуле длина $l = 1$, модуль упругости $= E$, момент сгибания $= W$, $W = \frac{S^4}{12}$, $S =$ сторон квадратного сечения, $P =$ вес нагрузки.

2) При таком же укорочении нижнего конца столба, верхний его конец удерживается от бокового смещения. В этом случае, при сгибании столба, точка максимального отклонения приближается к середине, крепость столба на излом вычисляется по формуле: $P = 2 \pi \frac{WE}{l^3}$, прочность увеличивается по сравнению со предыдущим случаем во восемь раз. 3) Если оба конца столба закреплены,

то точка перелома лежит на середине столба и прочность на излом, согласно формуле: $P = 4 \pi \frac{WE}{l^3}$ увеличивается

в 16 раз. 4) Если оба закругленные конца столба только защищены от бокового смещения, но могут вращаться в углублениях, то согласно формуле: $P = \pi \frac{WE}{l^3}$,

прочность на излом (при разрыв перелома на середине столба) увеличивается в четыре раза. 5) Если оба конца столба не удерживаются (нижний же защищен от бокового смещения), то мы имеем случай подвешенного случая 4-го, до тех пор, пока столб не упадет без перелома, вследствие отклонения верхнего конца. 6) Если взять два одинаковых столба и установить их (на расширенных концах) один над другим, то их прочность превысит таковую одного столба. Такое устройство мы найдем в больших срединных суставах конечностей. До сих пор мы рассматривали столбы, имеющие одинаковое по всей длине поперечное сечение, в таких столбах может быть загрузка, согласно вычислениям, определена точка перелома, но по теоретическим рассуждениям можно увеличить опасность перелома, перенеся часть материала на место предполагаемого быть перелома и тем укоротить соответствующее место.

Этот принцип неравномерного сечения и применяется природою во построении костей скелета. Если в первом описанном случае, точка перелома находится у места закрепления, то перенеся часть материала книзу, мы получим место цилиндрического столба, конечный в этом уменьшим опасность перелома; так устроены например лучевая и локтевая кости, а в обратном направлении большеберцовая. В случае третьем, когда точка перелома находится посередине, ее можно укоротить, сдвинуть столб бесконечным, такой кривой мы найдем в целой конечности. Пространство между губчатого вещества, долгое время не признавали механического значения, пока Гумфрей Дэви из Кембриджа не обратил внимание

1) Раубер. Руководство анатомии человека. СПб. 1904.

на правильность и законность расположения этих перепалды. Hermann Meyer¹⁾, называя однажды препараты раскопанных костей, их цюрихских обитателей естественных людей; присутствовавший на заседании анатомов, проф. Kulmann²⁾ обратил внимание на то обстоятельство, что перепалды губчатого вещества расположены на костях по линиям, проводимым из графической статик в телах, имеющих такое же механическое назначение. Kulmann предложил снова ученикам провести на начертанной им схеме краха (соответствующей продольному сечению овие femoris), кривым наибольшего растяжения и сжатия, которые оказались расположенными как раз по тем же линиям, по которым или перепалды губчатого вещества концы бедренной кости. И позволил себе привести этот классический пример, не вводя в рассмотрение очень богатой литературы по данному вопросу. (В настоящее время механическому анализу подвергнуты все кости человека и многих животных и учение о значении перепалды губчатого вещества является одним из хорошо разработанных отделов „механической анатомии“).

Подъ именем стойки мы разумем тело, ничто пр. Kulmann, которое образуется движением плоской фигуры, таким образом, что ее центр тяжести образует непрерывный путь, а она сама при этом остается всегда перпендикулярной к этому пути³⁾. Фигура, образующая своим движением стойку, может быть кругом, четырехугольником и т. п., а путь ее центра тяжести может быть прямой или изогнутой. Рис. I изображает такую изогнутую стойку (или крах), представляющую схематизированный разрез бедренной кости, ограничивающийся

1) Hermann Meyer. Die Architectur der Spangien (также Müller's Arch. 1849).

2) Kulmann, K. Die graphische Statik. Zürich, 1890 III. Abschn. 74. Der Balken. Erstes Kapitel.

линей АВ³⁾. Эта стойка описана движением круга и линия СВ представляет ее ось, т. е. путь, описанный центром фигуры. Если на конец стойки будет действовать сила тяжести D, то частицы коснутой поверхности СВ, будут стремиться сжаться, в противоположность частицам внешней поверхности, стремящимся раздвинуться. Степень сжатия в растяжении частицы уменьшается по направлению к центру т. е. к оси, на которой она равна нулю. На рисунке степени растяжения и сжатия изображены величиною стрелок, перпендикулярных к FN и GN, а линии IN и IM графически выражают растяжение и сжатие частей краха. Но кроме этого действия тяжести на конец краха, частицы каждого поперечного и продольного сечения стремятся еще передвинуться по отношению разном азимуте обвеса; это явление представляется силой сжатия, которой противодействием является сила упругости. Эта сила, в противоположность сжатию и растяжению особенно сильно действует на оси стойки, уменьшаясь до нуля на периферии, что легко можно доказать, если, распиливши четырехугольный брусок по нейтральной оси и закрывши один конец его на другой, действовать отклонением, тогда, вследствие отсутствия напряжения, артефицированного смещения, нижняя часть бруса на свободный кусок выдвинется дальше вперед. Если распил бруса по динк будет проведен на большем или меньшем расстоянии от нейтральной оси, то и выдвинувший кусок будет то больше то меньше. На нашем рисунке мы можем изобразить графически силу смещения, линиями перпендикулярными к плоскости поперечного сечения IK. Линия эта, самым длинным на оси, постепенно увеличивается, сходя к нулю в области наибольшего сжатия и растяжения; если соединить эти концы, то мы получим дугу LNK, как графическое

1) Рисунки и объяснение его взяты из: Обзор Анатомии пр. П. Ф. Лесгафта.

выражение этой силы сгибания. Понятно, что такъ, гдѣ нѣтъ силы сгибания, можно вынуть позвоночна вещества краемъ или стойки безъ преда для его сопротивления, а мы получимъ тогда въ остатокъ, такъ называемыя, кривыя скаты и растаженія, въ началѣ параллельны оси и потомъ перекрещивающіяся подъ угломъ въ 45° , а другъ друга подъ угломъ въ 90° . Въ нихъ жѣтъ силы сгибания. Тѣла построенныя по такому правдану (изъ перекладныхъ) сопротивляются такъ, какъ бы они были сплошными. Раули протестовалъ насчетъ кости на основании этихъ соображеній и результатъ показалъ правильность теоретическихъ расчетовъ. Тоже самое сдѣлала природа, расположивъ перекладныя губчатого вещества костей, свѣтлѣйшими кривыми наибольшаго свѣта и растаженія. Рассматривая растаженную вдоль бедренную кость, легко видѣть это кривообразное расположение пластинокъ, перекрещивающихся между собою подъ угломъ въ 90° , перекрещивающіяся ось кости подъ угломъ въ 45° , и подходящихъ къ поверхности (головки) верхняго конца бедренной кости подъ правымъ угломъ. Діафизъ или тѣло кости представляетъ цилиндрическую изогнутую стойку, переходящую на концы въ кривыя скаты и растаженія. Такое строеніе выгодно, потому лучшей силой сопротивленія обладаетъ кость? Знаю модуль кривизны а поперечное сѣченіе кости можно теоретически вычислять ее сопротивление; но полученные цифры будутъ вѣрно только по отношению къ идеальной кости, выходящей одинаковой поперечности, въ природѣ же каждая кость обладаетъ отъ изогнутости и далености отъ идеала формъ, почему опять дается по огласнымъ (жесткимъ) съ теоретическими вычислениями данными. Я приведу нѣсколько цифровыхъ данныхъ изъ работъ Раубера и Лесгафта, полученныхъ опытнымъ путемъ:

О. Мессенгер получилъ въ Вердеревскій манантъ разрывъ плечевой кости 20-лѣтней женщины отъ нагрузки въ 800 килогр., а бедренной кости въ 1550 кило.

Сопротивленіе скату дается слѣдующія цифромъ:

ключица мужчинъ	{	.....	192 кило.
„	„	въ среднемъ	.....
„	женщинъ	{	..... 126 „
лучевая мужчинъ	{	.....	324 кило.
„	„	въ среднемъ	.....
„	женщинъ	{	..... 220 „
лопатка у мужчинъ	.....	максимумъ	... 290 к.
„	„	минимумъ	... 180 к.
„	у женщинъ въ среднемъ	.....	132 к.
бедренная (діафизъ) въ среднемъ	.....	.....	156.
шейка бедра у мужчинъ въ среднемъ	.....	.....	815
„	у женщинъ	.....	306
большая берцовая минимумъ	.....	.....	430
„	„	максимумъ	1650

Цифры получены разрывъ бедренной кости человѣка отъ дѣйствія тяжести въ 5607 кило. Такая же кость въ видѣ цилиндра въ 45 см. длинны, съ толщиною стѣнокъ въ 8 мм. (наружный радиусъ въ 14 мм.) разрывалась отъ дѣйствія тяжести въ 7787 кило! При закрѣпленіи кости въ поперечномъ направленіи, когда одинъ конецъ ее былъ свободенъ и выдвинутъ на 20 см., она переломавшаяся при сжатіи этого конца лишь при нѣбѣ тяжести въ 388 кило. Въ бытность мою студентомъ Петербургскаго университета, я присутствовалъ при опытахъ разрыва костей и скатовъ ихъ, производимыхъ въ Институтѣ Инженеровъ Путей Сообщенія, профессорами Лесгафтомъ и Вилежубскимъ, посредствомъ очень сильной гидравлической машины, служившей для испытанія строительныхъ материаловъ. Техники цифръ я теперь не помню, но намѣтъ чертъ поддерживавшаго давленіе на скаты до 90 пудовъ, а пѣтотолки кости до нѣсколькихъ сотъ пудовъ!

Посмотримъ теперь, каково сопротивленіе самого костнаго вещества. Мы можемъ получать сопротивленіе (крѣпость)

на сжатие, на разрыв, на скручивание, на слабые, на сильные; можно изучать также упругость костного вещества сравнительно с другими материалами, для чего надо только привести их к одной и той же единице, так называемому модулю, который выражается в килограммах, диаметр испытываемого вещества равен 1 квадратному миллиметру. Сопротивление на разрыв называется абсолютной крепостью ткани, а сопротивление на сжатие — противодействующей крепостью. Эластичность тканей может быть абсолютной, когда она уничтожается раздвигание частей, и противодействующей, когда она стремится уничтожить сближение частей. По очень точным исследованиям Рауберга, который проводил опыты на высушенных полочках плотного костного вещества, данных в средней части 8 см., с толстыми концами, образованными с середины углом в 135° , при диаметре волочек в 2—3 мм. и температур $15-25^\circ \text{C.}$ (при исследованиях сибяжи костей их смачивали в воде 35°C.) оказалось, что абсолютная крепость сибяжи кости равняется 9,25—12,41 кило на 1 кв. мм. поперечного сечения, противодействующая разна 12,56—16,8 на 1 кв. мм. Коэффициент эластичности 1871—2560 кило на 1 кв. мм. Прямому измерению данным сопротивлению других веществ из учебника Рауберга:

	Модуль упругости.		Модуль крепости.	
	на растяж.	на сжатие	на растяж.	на сжатие.
литая сталь	29200	11000	102	—
желтая	19700	19700	4,09	22
латунь	6400	—	12,4	110
бронза	6300	—	25,6	—
челюст. кость в прод. напр.	1800—2500	—	9,25—12,41	12,56—16,80
осевая кость в прод. напр.	3,888	—	1,51	2,72

Из этих цифровых данных можно видеть, что крепость

кости на растяжение равна крепости латуни, а на сжатие близка к крепости желтой. Упругость костного вещества в три раза меньше упругости латуни. Герман Мейер, говорит проф. Лесгафт¹⁾ брала кости в под: 1) сплюснутый цилиндр с радиусом в 50 единиц; 2) полый цилиндр с внутренним радиусом в 50 единиц и внутренним радиусом в 30 единиц, как схему нормальной трубчатой кости; 3) систему концентрических пластин толщиной в 1,81 единицы, с внутренним радиусом в 100,—50,—80,—70,—60,—50,—40,—30,—20,—10 единиц, принимая эту систему за губчатое вещество; 4) полый цилиндр с внутренним радиусом в 30 и внутренним в 40 единиц, представляющий собой кость с старческими изменениями. Г. Мейер определяла силу, необходимую для разрыва такой кости, при чем сила действует на нее в направлении ее оси и от точки опоры, а также силу, требующую для раздвигания кости, причем сила создается с направлением ее оси, но действует в обратном направлении, т. е. к точке опоры, из этого основания он приблизительно вычислял крепость кости, как для удержания приложенной тяжести, так и для поддержки ее. — Из составленной им таблицы оказалось, что: 1) При образовании полостей в кости, степень сопротивления ей не уменьшается в той же мере, как кажется ее вещество; так при одинаковом вытеснении перерезки, если площадь поперечных разрезов вещества будет относиться, как 100 : 64 : 36, то степень сопротивления находится в отношении 100 : 87 : 59. 2) С увеличением внутреннего радиуса в полую кость, при одном и том же количестве вещества (при одинаковом поперечном сечении) увеличивается также и степень ее сопротивления и даже больше, чем соответствующее увеличение радиуса, так например: если при одинаковом поперечном сечении радиус относится друг к другу как 100 : 125 :

1) Лесгафт. Общая Анатомия, стр. LXIII и сл.

150, то степень сопротивлении при ударе была та же, что и при давлении, как 100 : 140 : 407, и при ударе — как 100 : 218 : 604*.

Удивительная стойкость плотного костного вещества зависит, без сомнения, от расположения составляющих его элементов; мое исследование является попыткой дать объяснение механизма сопротивления этого вещества с точки зрения гистологического строения. Уже в ригиде следовало ожидать со стороны природы благоприятного строения компактной субстанции, компактной именно только для невооруженного глаза. „Кривость кости, говорит проф. Раубер, обусловлена не исключительно несовершенством, как таковым, но существенное влияние на нее имеют также тонкие строения. Особенно ясно это выражено на трубчатых костях. Костная пластинка, как это уже раньше было показано, представляет, преимущественно в форме трубок, окружающих в надбугорковых областях разветвленные кровеносные сосуды костей, а также в надбугорковых и внутренних обхватывающих пластинках, ограничивающих кости. Даже каждая отдельная пластинка по своему тончайшему составу из колец из перемещающихся направляющих и обусловленной этим формой обхватывающего мембранного вещества представляется нашим отношениям к пластине. Такая форма образует ставитесь пластинки, что костное вещество имеет свойство к радиальному воздействию, что к воздействию параллельному продольной оси. На такое значение образования полых трубок вообще уже было обращено внимание выше. Тот же план заходит себя и здесь, в тончайшем строении кости, самое широкое приращение. Об этом можно себе составить ясное представление, если рассмотреть, сколько систем газероных колец содержат в себе поперечный разрез большой трубчатой кости. В бедренной кости человека их находится около 3200, в тibia приблизительно 2500; они, во всяком случае, не просто идут по всей длине, но рас-

полагаются соответственно соседним разветвлениям, представляя при этом боковые соединения. Если считать в среднем 10 пластинок на каждую газероночную систему, то только на бедренную кость приходится 32000 Газероных колец. Плотное костное вещество под микроскопом является очень пористым телом, все оно пронизано массой канальцев, соединяющихся как между собой, так и с питающими особыми путями наружную и внутреннюю поверхность кости. Канальцы эти, идущие из данных костей, параллельно оси имеют название, по имени открывшего их автора, газероных канальцев и содержат в себе кровеносные сосуды; эти последние идут в центральной части канальцев, но выполняя их совершенно, т. е. между наружной поверхностью сосуда и внутренней поверхностью канальца остается периваскулярное пространство, в котором могут находиться подвижные элементы крови. Это пространство чрезвычайно важно в том отношении, что при помехе давлению от канальца бы то ни было причина, сосуды могут изменить свой объем. Как поверхность сосуда, так и поверхность канальцев выстланы, так называемым эндотелием, который клетками переходит с одной поверхности на другую, так что сосуды представляются как бы подвижными в газероных канальцах. В периваскулярное пространство открываются мельчайшими отверстиями, так называемые, перичные канальцы, через которые может свободно циркулировать лишь одна лимфа, ибо форменные элементы не могут прорваться через кость, в виду малого просвета перичных канальцев. Диаметр газероных канальцев варьирует от 10 до 100 μ и даже больше, при чем самые узкие из них расположены ближе к наружной поверхности кости. На эпифизах канальцы оканчиваются слепко. На поверхности эпифиза кости они имеют очень разнообразную форму, от правильного круга (при точном поперечном сечении) до овальной или очень вытянутой и направленной в месте перерыва апостемозов.

Число их на единицу поперечного сечения очень значительно. Каждый такой канал не представляет собою простой, так сказать, высверленный ход в плотном костном веществе, а окружен рядом concentрических пластинок, в свою очередь, слоено построенных. Для изучения гистологического строения костного вещества необходимо сочетание изучения срезов или шлифов кости, сданныхных в поперечном и продольном направлениях. Если сданы такой препарат, например, приоткрытый асеприческое сечение кость либо трубчатой кости, или путем шлифовки тонкой отшлифованной пластинки, или срезах с помощью микро-тома тонкий кружок декальцинированной кости, мы получим диск, выходящий из центра пустое пространство, соответствующее сечению костномозговой полости, окруженное более или менее толстыми ободками плотного вещества. При исследовании этого кружка с небольшими увеличениями, мы замечаем из него массу отверстий, окруженных concentрическими пластинками. При внимательном рассмотрении можно отличить четыре системы пластинок, а именно: 1) одну систему, ограничивающую периферию кости, такие пластинки обхватывают ее из нескольких рядов непрерывных concentрических колец — они носят название наружных обхватывающих пластинок (их можно назвать также субperiosteальными пластинками.) В них замечаются отверстия (без concentрических пластинок), из которых выходят сосуда, эти отверстия представляются сечения, так называемых фолликулярных каналов, 2) другую систему, из нескольких рядов окружающую костномозговую полость, — это внутренние обхватывающие пластинки или periosteальные. Эта система отличается от предыдущей тем, что отдалены от пластинок захватить друг за друга своими краями, т. е. не представляют сплошных кругов, а только части круга.

Полосы, остающиеся между порами в второй системе пластинок, выполняются, в свою очередь, двумя другими: 3) принадлежащими самым тонким каналам и 4) вы-

полняющими пространства между тремя вышеописанными, так называемыми, остовными пластинками или интерстициальными, не составляющими замкнутых кругов, а представляющих concentрически расположенными кривыми поверхности, описанными, в большинстве случаев, более длинными радиусами, чем пластинки тонких каналов. Плотничатая структура костей представляется уже давно, раньше чем ее увидел из микроскопа Parkinje и Dentsch (1834 г.), например была известна факт, что кость может расщепиться на пластинки или чешуйки при вываривании, вытравливании или кальцинации. Такое пластничатое строение было известно уже Du Hamel'ю (в 1741 году.) Тогдашняя пластинка достигала от 6 до 12 р.

Теперь осталось только изучить строение пластинок; что пластинки состоят из перекрещивающихся волоконцев, предполагалось уже Schaeffer'ом (на декальцинированной кости), Kelliker'ом, но только, благодаря предложенному Ebner'ом способу и исследованию от поларизованного света, удалось с несомнительностью доказать состав пластинок из перекрещивающихся коллагеновых волоконцев. При обычной декальцинации из костей сред производят разбухание волоконцев, почему микроскопическая картина много терпит из-за этого и детали строения исчезают, поэтому Ebner прибавляет к декальцинирующей жидкости от 1—10 % коварной соли, čím очень ограничилось разбухание и этим образом метод дал возможность выводить точнейшие структурные отношения.

Рассматривая приоткрытый по этому способу поперечный тонкий срез кости, мы замечаем, что пластинки, окружающие тонкий канал, не одинаковы по оптическому отношению, а именно: 1—3—5—7 и т. д., то есть четными (считая от центра канала) пластинка, почти гомогенная и только при сильном увеличении выявляет параллельную нитчатость, пластинки же 2—4—6—8 и т. д., то есть четными, во многих, приблизительно вдвое шире нечетных, а в некоторых они матовые, при сильном увеличении состоят

из одного или двух рядов зернистых кружочков. Рассматривая продольный срез таинных же образцов обработанной кости, мы видим, что те пластинки, которые из поперечных срезов были блестящими, стали теперь матовыми, а те, которые были матовыми, стали блестящими, другими словами: четными приобрели вид нечетных и наоборот. Как же объяснить такое переупорядочение? Ответить можно было только одним: очевидно им имелись дело с волокнистыми строением пластинок, волокна или фибриллы которых, в общем, идут по именно перпендикулярному направлению, если направить на поперечный срез или мы видим пластинку матовой, зернистой, то это значит, что мы имеем перед собою оптическое сечение перпендикулярное к длине, составляющему ее волокна, но если такая же четная пластинка будет срезана по длине, то она представится (при большом увеличении) продольно исчерченной. Соединением волоконца для образования пластинок соединяются те лучи межфибриллярных веществ, представляемых, по Ebneg'у, известым. Пучки можно изолировать, обработывая декальцинированную кость 5—10% раствором поваренной соли, или мацеруя ее на слабейшем растворе или хромовой кислоты; но надо заметить, что когда волоконец из пластинок далеко не так жесток, а напротив очень сложен и запутан. Ebneg'у память из своей работы: «прежде всего костная фибрлла образует пучки около 3 μ в диаметра, которые идут или простым слоем или посредством немногих остроугольных эластичных образуют эластическую пластинку с ромбическим сетчатым, — вторичную пластинку. Отдельные пластинки соединяются посредством всего идущих пучков друг с другом и образуют различной толщины вторичные пластинки; на поверхностях или на срезах пла-

стинчатая структура выступает тем же веществом, чем более изменится направление волокон из слоев сближающихся друг за другом». Это ясное изменение оптического вида пластинок под микроскопом, зависящее от различного направления хода фибрилл, носит название Schaeffer-Ebneg'овского феномена. Фибриллы пучков перебиваются под острыми углами (по Келликеру они перебиваются между собой под прямыми углами, а с осью гаверсовых каналов под углом в 45°), благодаря чему образуются петли, изгибы и даже извитых линий; эти линии в разных пластинках, т. е. в четных и нечетных, располагаются своими длинными диагональными перпендикулярно друг к другу, другими словами они идут или параллельно оси гаверсова канала или вертикально к ней. Через эти те петли и проходят лучи первичных называемых костных веществ. Такое же строение имеют и другие выше описанные пластинки кости. У лангусты в кости только одна гаверсова система. На препаратах кости взрослого животного можно видеть, что системы гаверсовых каналов резко ограничены особой линией, которую Ebneg называл спаянной, а Келликер — неграницей. Эта спаянная линия как бы прерывает целостность промежуточных пластинок, т. е. мысленное продолжение какой-нибудь промежуточной пластинки совпадает с прерыванием ее спаянной пластиной, с другой пластиной, служащей как бы продолжением предыдущей. Эта неправильной формы спаянная линия обхватывает самые наружные гаверсовы пластинки, которые очень толсты и состоят из перпендикулярных к осевым линиям направлений пучков волокон, отчего в них нельзя заметить всей сложности. Такие пластинки, как полагают, образовались внутри спящей Эбневской линии после растворения, содержащегося на этой системе, вещества, при чем много отложившееся костное вещество расположилось соответственно внутренней поверхности спящей линии и образовало таким образом самую наружную неправильную пластинку. Неправиль-

1) Ebneg. Ueber den feinsten Bau der Knochenstruktur. Sitzungsberichte der Math.-Natur. Classe d. Kais. Akad. d. Wissensch. Bd. LXX. Abth. III. Wien, 1870.

нием и поларизованным светом особенно было доказано строение костного вещества из коллагеновых волокон. Остается упомянуть еще об одной волокончатости, идущих из надкостницы и вросших в наружные обхватывающие и внутренние пластинки, это открытие Schagrey'а, показывающая соединительнотканная волоконца, названные им — *probedrawing* волоконца, *refracting fibres*, а имитирующая автору, именуемая шаровидными волокнами. Из этого видно, что образована система нитей из термостойких или изолирующих волокон, названный *cris* (лучше всего из плоской черепной кости). Система волоконных канальцев, входить канальцы кости, также как и другие системы пластинок составлены, из пучков волокончатости в общем, перпендикулярных друг к другу из смежных пластинок; но распечатать пластинки на волокна, изолировать их и тем более распечатать никак не удается, пока трудно и даже невозможно приблизительно определить длину волокончатости; я полагаю, что длина их огромно значительна. Мы можем наблюдать распадение пучков на фибриллы на концах, состоящих из кусочков декальцинированных костей, когда все пластинки вытравлены под микроскоп. Фибриллы чрезвычайно тонкие, не более 1—1,5 μ . Нам было описано теперь проэкспериментированное вещество, но в кости есть и клеточные элементы, расположенные обычно между пластинками, но иногда и в самих пластинках, в особенности в фибриллах, называемых костными телами Virchow'a, или костными волокнами. Эти тела представляют из себя как бы коробочки с пластинками стенок, внутри выложенные собой очень ретикулярно, по отношению к клеткам, оболочкой Brücke. Эти коробочки, число которых по вычислению Веллера достигает до 740, а по Гартману до 910, на пространстве одного квадратного миллиметра, имеют очень оригинальную форму: тело их имеет эллипсоидальный вид и сложено из направленных наибольшего диаметра, кочку

несколько напоминают форму стемени арбуза или тыквы, т. е. оно имеет три оси, из которых первая самая большая, идущая по длине 18—31 μ , вторая меньшая, — равная 6 или 15 μ и третья самая короткая, соответствующая толщине равная 4—9 μ . От отбоя этих тел, преимущественно с широкой стороны, отходят масса слоистых извивающихся тонких отростков. Такие тела с отростками, на сухом препарате без прибавления канадского балласта, своим видом напоминают минеральную науку. Отростки тел, проходя через ретикулярные поры, соединяются с такими же других телами, лежащих в смежных пластинках, и так как отростки эти поры, то тело является особым порочным образованием; отростки носят название первичных канальцев — *canaliculi primi*, оболочка Brücke заходит также и в них. Пространство, занимаемое костными канальцами, говорит проф. Лесгафта, можно определить приблизительно из отношения занимаемого костными телами; в таком случае вещество, находящееся в костной ткани исключительное для сперм, будет относиться к остальному количеству, как 16:1 (по объему). Если вычислить еще пространство, занимаемое еще вторичными канальцами, составляющее $\frac{1}{10}$ объема костного вещества кости, то все вещество, служащее для образования и проведения питательного материала из костной ткани, составляет по вычислению Раубера $\frac{1}{10}$ всего объема костного вещества. Прежде тела принимались за депозиты, столь необходимой кости и назывались *osteon* *chalicorhiza*, она считалась также за алоусту, называемую жидкостью. Virchow изображал тела, в которых была найдена почти все костные протоплазматические элементы, истинные костные клетки, хорошо красящиеся хлорофильным золотом, с мелкозернистыми телами без оболочки, с кругловатыми или длинными ядрами. Некоторые авторы полагали, что тела клетчатые славными отростками, направляющимися в первичные костные канальцы, хотя Раувье сомневался в этом. Клебс даже вообще отрицает существование клеток в костных телах старых животных.

них, хотя бы кости и были совершенно свежие и, основываясь на опытах наблюдений, полагают, что костная ткань заключает в себя один газ (CO_2). По наблюдениям Ebnier'a расположение костных тканей подвешено такому закону: 1) ткань, длинной своей осью располагается параллельно ходу волоконцев из пластинок; 2) между двумя в один и тот же пластинки всегда содержится только одноименное направление длинных осей тканей; 3) широкие размеры сдвигают тому же закону. Перерезав кость напр. поперек, мы будем перерезать и ткань соответственно горизонтальными пластинками то вдоль, то поперек: поперек из четных и продольно из нечетных. Первичные каналы этих тканей из горизонтальных систем, дойдя до спаивающей пластинки заглубаются назад, не пробояв ее (поперечные каналы Havers'a), а подходящие к ней со стороны, не перерезав ее, а как бы обтекающие ее. По этим наблюдениям, которыми мною пока одобрены и подтверждаются, строение промежуточного вещества кости таково: нечетные пластинки представляются на поперечном срезе в виде идущих в одном направлении волоконцев, соединенных воедино; пучки этих волоконцев образуют пластинки, которые уже сравнительно с четными, но самое интересное это то, что волоконца одной нечетной пластинки, на некотором расстоянии разветвляясь, переходят в другие нечетные же пластинки доходя до широких пучков, таким образом широкий пучок, между каждой парой нечетных пластинок, раздвигая таким перегородками на отдельные ячейки (из этих ячеек, принимающих форму трубочек) круглой формы; из этих же ячеек идут также и ветви зернистого кружка, очевидно соответствующие пучкам коллагенических волоконцев, склеивающих интерфибриллярные вещества; оптическое изображение каждой фибриллы соответствует, видимо под микроскопом, точкой или зернышку. Вид зернистого кружка несколько напоминает конфетный порошок из зернышек с равномерным распределением фибрилл. Такая картина в на-

блюдаясь с помощью масляной апертурной системы Zeiss'a на очень тонких срезах толщиной в 1 р. Прямая линия рисунка посылает суживание; тонкому строению кости и надлежит прислать отдельную статью и это кратко описание надлежащее мною является только предварительным сообщением. В строении компактного вещества кости, по моему мнению, все отдельные части расположены так, чтобы отдать ему наибольшую крепость и упругость. В существе компактное вещество (особенно из длинных костей) представляется пучком параллельных трубочек, из которых каждая имеет ствол, сложенный из ряда замкнутых пластинок, то есть каждый горизонтальный канал представляется из себя систему концентрических трубочек; такое устройство выгодно при боковых изгибах; как узнавал мы профессор математики глубоководный Г. В. Колосов, при этом допускается игиба под большим углом. Я обратил особое внимание на расположение коллагенических волоконцев из пластинок и для лучшего представления сдвигая себя из желтой проволоки упрощенную модель горизонтального канала, которая нестроганата так: спиралью намотанную, из нити цилиндра, внутренняя проволока представляется первой нечетной пластинкой, снаружи от нее прикрывает из той же нити второй цилиндр из вертикально поставленных (параллельных), системных между собой отрезков проволоки, из второй цилиндра соответствует четной пластинке канала, вокруг этого цилиндра расколочена, обвивающая его, спираль, соответствующая второй нечетной (3-ей) пластинке. Модель представляет из себя упрощенный вид строения горизонтального канала, в котором ход волоконцев из действительности гораздо сложнее, но так как в общем, направление волоконцев в смежных пластинках взаимно перпендикулярно, то на такой модели ясно выступают признаки соответствия на срезе: если мы будем давать на такую систему, то нечетные пластинки, (на модели представлена одна спираль из пластинок, а из действитель-

ности вытесни несколько переправляющихся спиральными ходами) ослабим кости и состояла только из них, не могла бы так сопротивляться давлению, как при нахождении между каждой парой вертикальных идущих лучей полостей. Допустим, что сила давления переходит в предельное сопротивление тангенса пластинок, тогда лучи вертикальных волокон, изгибаясь, встречают опору во внешней спирали, охватывающей внутреннюю кривыми кольцами, сопротивление усиливается, кривизна постройки выигрывает. В этом же и состоит, по моему мнению, смысл и назначение чередования хода волокон из четных и нечетных пластинок гаваровых каналов. Осложнение из ходов волокон, образующих от пересечения друг с другом вытянутых ромбических петель, также может быть объяснено с механической точки зрения, как способ уменьшения сопротивления толчкам, ибо ромбические петли можно рассматривать как пружинящее (рессорное) приспособление (такие вытянутые рессоры имеют железнодорожные вагоны). Петли эти своими длинными осями расположены то параллельно, то перпендикулярно оси каналов. Присутствие громадного числа петель, придающее ажурный вид пластинкам и необходимое для прохода перичных канальцев, еще выгодно и с точки зрения наименьшей затраты материала. Наконец само устройство и расположение костных тканей может быть иметь не маловажное значение. Дело можно представить так, что ступни (в данном случае пластинки) вытнуты части материала и замещены другими. Иначе было кривизна, (стенки костных полостей) внешними, при чем длинная

оси, от тех загибающихся частей из смежных пластинок, также расположенных в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Увеличится ли кривизна и упругость при этих условиях, сказать очень трудно (но можно предполагать), так как нам неизвестно модуль упругости и модуль кривизны вещества стенок костных полостей. Вышеописанное устройство пластинчатого костного вещества, находится в полном согласии с законами архитектуры костей, так определенно выраженных профессором Лесгафтом; каждая отдельная часть, составляющая пластинки, имеет свой смысл и значение и при приспособлении механического анализа мертвая кость оживает в наших глазах.

Объяснение рисунков.

Рис. № I. Схема сопоставления краев действия тяжести Д. Значение буквы из текста.

Рис. № II. Схема поперечного разреза длиной кости при среднем увеличении: а — наружная облативающая пластинка, б — фолликулярный канал, с — внутренний пластинка, д — внутренний облативающий, перимедуллярный элемент, е — гаверозная пластинка, ф — просвет гаверозного канала, А — костяной канал.

Рис. № III. Схематическое изображение поперечного сечения гаверозного канала. А — просвет канала, а, д, е — четные пластинки с перпендикулярных к оси канала ходом волокон, б — четная пластинка с параллельным к оси канала ходом волокон, е — поперечное сечение отдельных лучей коллагенных волокон.

Рис. № IV. Схематическое изображение продольного сечения гаверозного канала: а, а', а'' — четные пластинки, б, б', б'' — четные пластинки. На этом рисунке хорошо различимы с перпендикулярным к продольному разрезу направлением. А — продольное сечение канала.

Рис. № V. Полуанатомическое изображение поперечного сечения компактного вещества длиной кости. А — поперечное сечение гаверозного канала, а — наружная пластинка, б — внутренняя, с — костное тело, остальная пластинка, д — соединяющая как кортикальная линия, е — кортикальные каналы, ф — кортикальные каналы Havers'a.

Рис. № VI. Часть сечения гаверозного канала. Очень тонкий срез при увеличении в 2000 раз (А. Бокс, 1906, 1, 5). а, а', а'', а''' — четные пластинки, б, в, в' — перегородки как перегородки, соединяющие четные пластинки между собой, с, с', с'' — лучи продольно перерывающихся коллагенных волокон, лежащих в лучевых образующих пластинками и их перегородками.



Рис. № II.



Рис. № III.

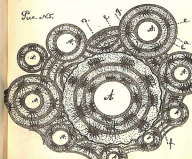


Рис. № IV.

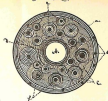


Рис. № V.



Рис. № VI.

