

О.Д.Боягина

Харьковский национальный медицинский университет

**Ключевые слова:** мозолистое тело, комиссуральные канатики, фасцикулярные порции, субфасцикулярные порции, сотовые порции.

Надійшла: 26.04.2017

Прийнята: 12.06.2017

УДК: 611.813.9.018.83

## ИЕРАРХИЧЕСКИЕ УРОВНИ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НЕРВНЫХ ВОЛОКОН В МОЗОЛИСТОМ ТЕЛЕ ЧЕЛОВЕКА

*Исследование проведено в рамках научно-исследовательской работы «Морфологические особенности органов и систем тела человека на этапах онтогенеза» (номер государственной регистрации 0114U004149).*

**Реферат.** Цель данного исследования – выяснение характера организованности структур мозолистого тела на микроскопическом уровне. Материалом служили пластинки предварительно фиксированных в 10% растворе нейтрального формалина тотальных сагиттальных срезов мозолистого тела людей в возрасте от 36 до 60 лет. Установлено наличие в мозолистом теле четырех уровней структурной организации комиссуральных проводников, которые находятся в соподчиненном порядке: 1 – комиссуральные канатики – субъединицы мозолистого тела; 2 – фасцикулярные порции – субъединицы комиссуральных канатиков; 3 – субфасцикулярные порции – субъединицы фасцикулярных порционов; 4 – сотовые порции – самые минимальные множества миелинизированных нервных волокон.

**Morphologia.** – 2017. – Т. 11, № 2. – С. 7-11.

© О.Д.Боягина, 2017

✉ olya-boyagina@yandex.ru

**Boiagina O.D. Hierarchical levels of the morphological organization of nerve fibers in the human corpus callosum.**

**ABSTRACT. Background.** At present, the idea of the structural content of corpus callosum is extremely simplified. In fact, in the myeloarchitectonics of the corpus callosum, there is a definite form of order between the structures that form it. **Objective.** The purpose of this study is to elucidate the nature of the corpus callosum structures organization at the microscopic level. **Methods.** The material used was plates of total sagittal sections of the corpus callosum of people aged 36 to 60 that were preliminarily fixed in 10% neutral formalin solution. After washing and dehydration, some of them were enclosed in paraffin blocks. After that, serial sections, about 10 mm thick, were obtained from those blocks and further they were stained with hematoxylin and eosin using Van Gieson's method. The remaining mounts of sagittal sections of the corpus callosum were subjected to plastination in epoxy resin. After complete polymerization, polished sections of different thicknesses with the preparations of the corpus callosum in them were obtained from the epoxy plates. Then they were stained with a 1% solution of methylene blue in 1% borax solution. The study of paraffin sections and epoxy sections was carried out with the help of a binocular magnifier МБС-9 and a light microscope "Конус" equipped with a digital photo adapter. **Results.** In the corpus callosum a certain number of isolated commissural ropes is integrated. They consist of a dense aggregate of stratified sections - fascicular choruses, which in turn are separated by narrow interstitial spaces in which capillary-type blood microvessels are localized. These interfascicular layers provide lateral spurs dividing fascicular portions into segments - subfascicular portions. Within the subfascicular portions, nodal cells are dispersed, in which interfascicular oligodendrocytes form a dense cellular network. Within their limits the most minimal sets of myelinated nerve fibers called cellular portions are concentrated. **Conclusion.** The existence of four levels of the structural organization of commissural conductors in the corpus callosum is established. They are in a superordinate order: 1 - commissural cords - subunits of the corpus callosum; 2 - fascicular portions - subunits of commissural ropes; 3 - subfascicular portions - subunits of fascicular choruses; 4 - cellular portions - the most minimal set of myelinated nerve fibers. All these elements are integrated into a single system of commissural tracts by a complex network of interstitial interlayers, the organization of which is subordinated to the character of blood microvessels branching.

**Key words:** the corpus callosum, commissural cords, fascicular portions, subfascicular portions, cellular portions.

### Citation:

Boiagina OD. [Hierarchical levels of the morphological organization of nerve fibers in the human corpus callosum]. Morphologia. 2017;11(2):7-11. Russian.

## Введение

Известно, что через мозолистое тело взрослого человека концентрировано проложено (в процессе эмбриогенеза и ранних стадий постнатальной жизни) несметное множество нервных проводников [1-3]. Но при этом следует учитывать, что общий объем его занят не только нервными волокнами, но включает в себя и другие сопутствующие структуры, к которым относятся глиальные клетки (фибриллярные астроциты и интерфасцикулярные олигодендроциты) и кровеносные сосуды разного калибра [4, 5]. Последние локализованы в соединительнотканых прослойках среди определенных совокупностей нервных волокон.

Если не считать некоторых уточняющих факторов, то этим, по существу, в настоящее время ограничиваются сведения литературы о структурном содержании мозолистого тела. Очевидно, что такое представление об основном комиссуральном узле головного мозга является крайне упрощенным, так как его нельзя рассматривать как простую сумму слагаемых тканевых структур. Безусловно, в миелоархитектонике мозолистого тела заключена определенная специфическая форма упорядоченности (организованности) между ними, раскрытие которой являлось целью нашего исследования.

## Материал и методы

Материалом служили тотально иссеченные сагиттальные профили мозолистого тела в виде пластинок, толщиной около 2 мм, мужчин и женщин (по 10 препаратов) в возрасте от 36 до 60 лет, умерших по причинам, не связанным с патологией центральной нервной системы, которые получены в Харьковском областном бюро судебно-медицинской экспертизы.

После отмывки и дегидратации часть из них заключали в парафиновые блоки, из которых получали серийные срезы, толщиной около 10 мкм, и окрашивали их гематоксилином и эозином и по Ван-Гизону.

Остальные целостные препараты мозолистого тела подвергали пластинации в эпоксидной смоле [6] (для этого использовали эпоксидный клей марки «Химконтакт-Эпокси») по следующей схеме: 1 – замещение в тканях спирта ацетоном; 2 – замещение в тканях ацетона эпоксидной смолой и погружение препаратов в чистую, тут же подготовленную, эпоксидную смолу. Следующая процедура заключается в извлечении препаратов из еще незаполимеризовавшейся эпоксидной смолы и помещении их на заранее подготовленные полиэтиленовые пленки, которые сверху покрываются такими же по размеру пленками. Дальше каждый такой послойный блок в отдельности помещается между двумя равными по размеру стеклами, которые сжимаются с помощью канцелярских зажимов.

После полной полимеризации из полученных эпоксидных пластинок с заключенными в них препаратами мозолистого тела изготовлены полированные шлифы разной толщины, которые мы окрашивали 1% раствором метиленового синего на 1% растворе буры.

Изучение парафиновых срезов и эпоксидных шлифов, а также их фотодокументация осуществлены с помощью бинокулярной лупы МБС-9 и светового микроскопа «Конус», оснащенных цифровой фотопроставкой.

## Результаты и их обсуждение

Тщательное изучение указанных выше препаратов мозолистого тела позволило прежде всего установить, что оно представляет собой коллекторное объединение определенного множества отдельных порционных совокупностей нервных проводников, имеющих канатикообразную форму, толщиной от 2,0 до 3,5 мм, которые, проходя через мозолистое тело в поперечном направлении, внедряются в белое вещество обоих полушарий, составляя в нем комиссуральные тракты. Данные образования мы предложили называть комиссуральными канатиками. Имея уплощенно-округлую форму, они несколько выпячиваются в поперечном направлении на верхней и нижней поверхностях мозолистого тела, образуя валикообразные возвышения, которые на верхней поверхности фигурируют в литературе под названием поперечных полосок.

Следует отметить, что с этой стороны поверх них находится так называемое серое покрытие [7], которое на самом деле является наружной лимитирующей глиальной оболочкой, описание которой представлено в наших предыдущих публикациях [5, 6]. В них также указано, что нижняя поверхность мозолистого тела со стороны боковых желудочков покрыта внутренней лимитирующей оболочкой. При этом данные две противоположные оболочки соединены между собой проросшими через толщу мозолистого тела соединительноткаными перегородками, толщиной от 0,1 до 0,4 мм, которыми отделены друг от друга комиссуральные канатики. В данных межфундикулярных соединительнотканых перегородках локализуются мелкие кровеносные сосуды.

Таким образом, в мозолистом теле интегрировано определенное множество изолированных (в относительном смысле) нервных канатиков, толщина которых доступна для визуализации невооруженным глазом (рис. 1). В свою очередь комиссуральные канатики состоят из плотной совокупности слоистых секций, каждая из которых представляет собой определенное множество пучков нервных волокон. Данные слоистые секции описываются нами под названием фасцикулярных порционов (термин «порционы» заимствован нами у Г.Г. Автандилова [8]). Будучи

тесно сближенными между собой, они разделены узкими интерстициальными прослойками, в которых локализованы кровеносные микрососуды капиллярного типа. Данные межфасцикулярные прослойки отдают короткие боковые отростки, делящие фасцикулярные порции на сегменты, выделяемые нами под названием субфасцикулярных порционов, в территориальных пределах которых кровеносные микрососуды отсутствуют.

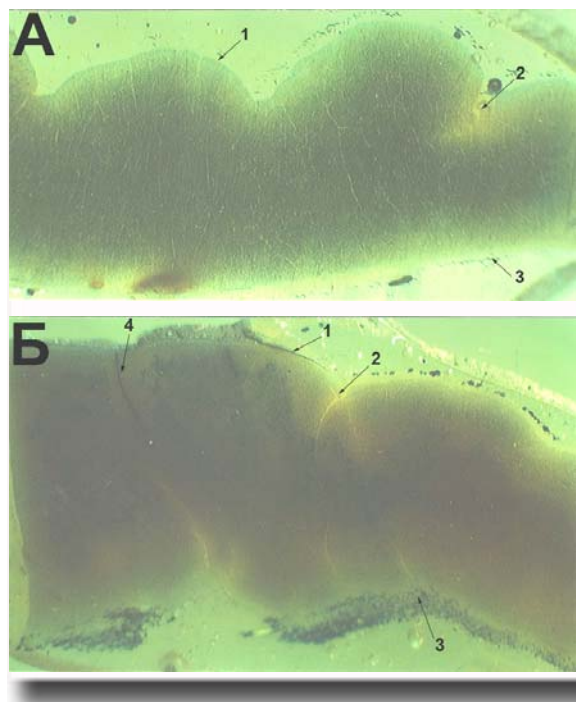


Рис. 1. Стволовой отдел мозолистого тела в сагитальной плоскости сечения (А – мужчины, Б – женщины). Эпоксидный шлиф, окраска метиленовым синим. Бинокулярная лупа (микроскоп МБС-9).  $\times 2$ .

1 – комиссуральные канатики и их возвышения над верхней поверхностью мозолистого тела; 2 – разделительные щели между комиссуральными канатиками; 3 – нижняя поверхность мозолистого тела; 4 – кровеносный сосуд.

Много усилий потребовало изучение пространственной организации интерстициального пространства комиссуральных канатиков мозолистого тела. В итоге установлено, что оно представляет собой сложную разветвленную сеть интерстициальных прослоек, организация которой соподчинена с характером ветвления кровеносных микрососудов, являясь вместе с тем транспортной системой для внесосудистой циркуляции жидкости с растворенными в ней питательными веществами (рис. 2). При этом данная сеть увязана с регулярно рассредоточенными в пределах субфасцикулярных порционов узловыми ячейками, в которых помещаются интерфасцикулярные олигодендроциты, формирующие густую сотовую сеть, отдельные ячейки которой имеют полигональную (пяти- или шестиугольную) форму (рис. 3).

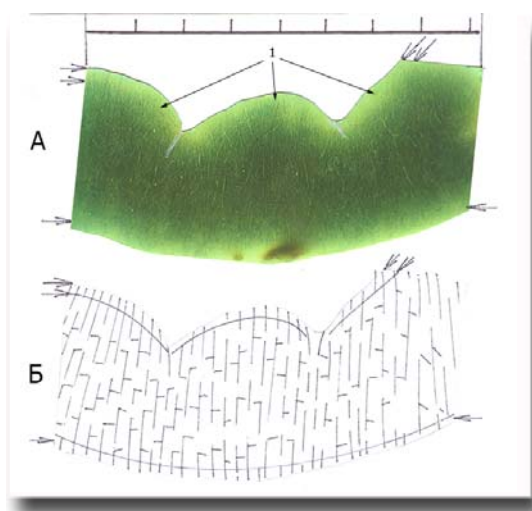


Рис. 2. Общий принцип структурной организации стволового отдела мозолистого тела: А – продольный эпоксидный шлиф (между боковой и медиальной полосками). Окраска метиленовым синим.  $\times 2$ ; Б – схематическая интерпретация ориентировки интерстициальных прослоек в мозолистом теле.

1 – комиссуральные канатики в поперечном сечении. Двумя стрелками указан слой серого покрытия, одной – слой эпендимы.

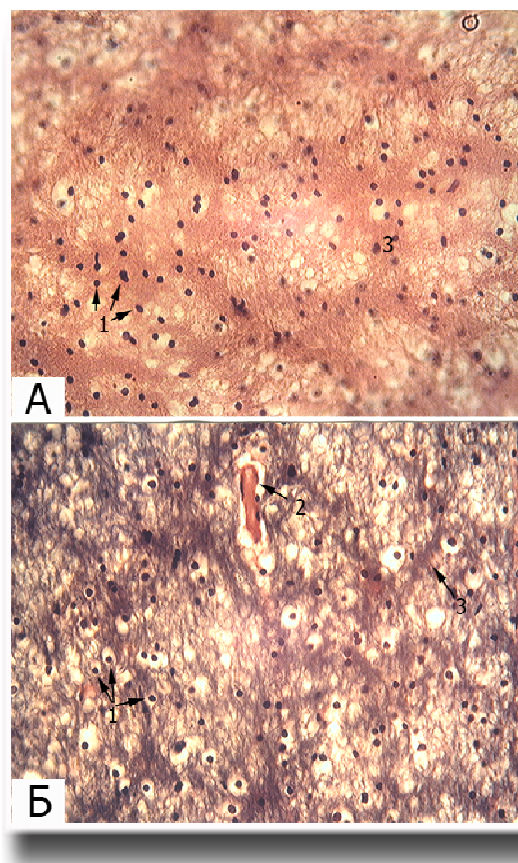


Рис. 3. Мозолистое тело мужчины зрелого возраста. Парафиновые срезы. А – окраска гематоксилином и эозином; Б – окраска по Ван-Гизону.  $\times 40$ .

1 – ядра интерфасцикулярных олигодендроцитов; 2 – кровеносный микрососуд в межфасцикулярной соединительнотканной прослойке; 3 – темные прожилки – границы между сотовыми порциями, внутри которых видны пучки миелинизированных нервных волокон.

В их пределах, в близости между собой, сосредоточены самые минимальные совокупности миелинизированных нервных волокон, среди которых диаметр самых толстых ненамного превышает 10 мкм. Данные минимальные совокупности нервных проводников мы выделяем под названием сотовых порционов. Расположенные в их угловых местах интерфасцикулярные олигодендроциты своими отростками непосредственно связаны с миелиновыми оболочками нескольких нервных волокон. Вместе с тем следует иметь в виду, что по всему протяжению последних в периодической последовательности расположены ряды интерфасцикулярных олигодендроцитов, что должно совпадать с последовательным чередованием в нервном волокне перехватов Ранвье.

#### **Выводы**

В результате проведенного нами декомпозиционного анализа морфологического строения мозолистого тела человека впервые раскрыт принцип его конструктивного устройства, заключающегося в наличии в нем четырех уровней структурной организации комиссуральных проводников, которые находятся в следующем соподчиненном порядке: 1 – комиссуральные канатики – субъединицы мозолистого тела; 2 – фасцикулярные порционы – субъединицы ком-

миссуральных канатиков; 3 – субфасцикулярные порционы – субъединицы фасцикулярных порционов; 4 – сотовые порционы – самые минимальные множества миелинизированных нервных волокон.

Все данные сомножества интегрированы в единую систему комиссуральных трактов посредством сложно разветвленной сети интерстициальных прослоек, организация которой соподчинена с характером ветвления кровеносных микрососудов, являясь вместе с тем транспортной системой для внесосудистой циркуляции жидкости с растворенными в ней питательными веществами. Но потребителями их являются не сами нервные волокна, а интерфасцикулярные олигодендроциты, которые за счет своей синтетической деятельности осуществляют процесс обновления миелиновых оболочек принадлежащих им нервных волокон в пределах сотовых порционов.

#### **Перспективы дальнейших исследований**

Морфологический анализ с использованием современных методов исследования на ультраструктурном и молекулярном уровнях может стать основой для уточнения структуры мозолистого тела.

### **Литературные источники References**

1. Buklina SB. [The corpus callosum, interhemisphere interactions, and the function of the right hemisphere of the brain]. *Zhurnal neurologii i psikiatrii imeni S S Korsakova*. 2004;104(5):8-14. Russian.
2. Raybaud C. The corpus callosum, the other great forebrain commissures, and the septum pellucidum: anatomy, development, and malformation. *Neuroradiology*. 2010;52(6):447-77. doi: 10.1007/s00234-010-0696-3.
3. Imperati D, Colcombe S, Kelly C, Di Martino A, Zhou J, Castellanos FX, Milham MP. Differential development of human brain white matter tracts. *PLoS One*. 2011;6(8):e23437. doi: 10.1371/journal.pone.0023437.
4. Boiagina OD. [General principle of the corpus callosum internal structure in adult human]. *Georgian Medical News*. 2017;1:82-7.

5. Kostilenko YuP, Boiagina OD. [Form of male and female corpus callosum internal organization at mature age]. *Scientific Journal «Science-Rise»*. 2016;4(3):4-8. doi: 10.15587/2313-8416.2016.67450.

6. Kostilenko IuP, Boiko IV, Starchenko II, Prilutskii AK. [Method of producing histological preparations, equivalent to large-area semithin sections, for multipurpose morphological studies]. *Morfologiya*. 2007;132(5):94-6.

7. Nemeček S. *Vvedenie v nejrobiologiyu* [Introduction to neurobiology]. Prague: Avicenum; 1978. 416 p. Russian.

8. Avtandilov GG. *Vvedenie v kolichestvennuiu patologicheskuiu morfologiyu* [Introduction to quantitative pathological morphology]. Moscow: Meditsina; 1980. 216 p. Russian.

**Боягіна О.Д. Ієрархічні рівні морфологічної організації нервових волокон у мозолистому тілі людини.**

**Реферат.** Мета даного дослідження – з'ясування характеру організованості структур мозолистого тіла на мікроскопічному рівні. Матеріалом служили пластинки попередньо фіксованих у 10% розчині нейтрального формаліну тотальних сагітальних зрізів мозолистого тіла людей у віці від 36 до 60 років. Встановлено наявність у мозолистому тілі чотирьох рівнів структурної організації комісуральних провідників, які знаходяться в супідрядному порядку: 1 – комісуральні канатики – субоддиниці мозоли-

стого тіла; 2 – фасцикулярні порціони – субдиниці комісуральних канатиків; 3 – субфасцикулярні порціони – субдиниці фасцикулярних порціонів; 4 – стільникові порціони – мінімальна безліч мієлінізованих нервових волокон.

**Ключові слова:** мозолисте тіло, комісуральні канатики, фасцикулярні порціони, субфасцикулярні порціони, стільникові порціони.