ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КРОВЕНОСНОГО РУСЛА ПАРАНЕВРАЛЬНОЙ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ НЕРВНЫХ СТЕЛОК

М.А. Затолокина¹, В.С. Польской², К.М. Бородин², Е.С. Затолокина¹

ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет»

Министерства здравоохранения Российской Федерации,

¹кафедра гистологии, эмбриологии, цитологии; ²кафедра анатомии человека

Соединительнотканые оболочки периферических нервов, представляющие собой их высокодифференцированную строму, играют важную роль в обеспечении нормальной жизнедеятельности проводникового аппарата, в связи с чем получение новых данных относительно особенностей их кровоснабжения и иннервации является весьма актуальным на современном этапе развития нейроморфологии. С целью изучения организации сосудистого русла «параневрии» нервных стволов, исследование было выполнено на периферических нервах плечевого сплетения в области средней трети плеча лабораторных животных (крыс). В результате исследования было выявлено, что в общей организации сосудистого русла наблюдается преобладание сложных трехмерных артериоло-веноулярных комплексов над плоскостными сосудистыми сетями модульного типа. В совокупности с непрерывностью, многоступенчатостью формирования сосудистого русла «параневрии» составляет морфологический субстрат постоянства и регулируемости гемодинамики.

Ключевые слова: периферические нервы, параневрий, эпиневрив, параневральные соединительнотканые структуры, кровеносное русло.

DOI 10.19163/1994-9480-2019-3(71)-35-38

PECULIARITIES OF THE STRUCTURAL ORGANIZATION OF THE BLOOD BED OF THE PARANEURAL CONNECTIVE TISSUE OF THE PERIPHERAL NERVOUS STEMS

M.A. Zatolokina¹, V.S. Polskoy², K.M. Borodina², E.S. Zatolokina¹

FSBEI HE «Kursk State Medical University» of Public Health Ministry of the Russian Federation,

¹Department of Histology, Embryology, Cytology;

²Department of Human Anatomy

The connective tissue membranes of the peripheral nerves, which are their highly differentiated stroma, play an important role in ensuring the normal functioning of the conductor apparatus, and therefore, obtaining new data on the features of their blood supply and innervation is very relevant at the present stage of development of neuromorphology. In order to study the organization of the vascular bed «paraneuria» of nerve trunks, the study was performed on the peripheral nerves of the brachial plexus in the region of the middle third of the shoulder of laboratory animals (rats). As a result of the study, it was found that in the general organization of the vascular bed there is a predominance of complex three-dimensional arterio-venular complexes over modular planar vascular networks. In conjunction with continuity, the multi-stage formation of the «paraneuria» vascular bed forms the morphological substrate of the constancy and controllability of hemodynamics.

Key words: peripheral nerves, paraneuria, epineuria, paraneural connective tissue structures, bloodstream.

На современном этапе нейроморфологии достаточно подробно изученным является внутривольное строение ветвей периферических нервов, однако в состав нервного ствола, кроме нервных пучков, входит и промежуточная соединительная ткань, данные о структурной организации которой немногочисленны и не систематизированы [1, 4].

Соединительнотканная строма периферических нервов обеспечивает постоянство внутренней среды нервных стволов, выполняет активную роль в процессе развития и регенерации проводниковых элементов, участвует в выработке и циркуляции внутриневральной жидкости, то есть выполняет механическую, трофическую, барьерную и компенсаторно-приспособительную функцию в отношении проводникового аппарата. В опубликованных работах отечественных и зарубежных авторов освещены

вопросы относительно иннервации, васкуляризации, а также особенностей эмбрионального развития таких соединительнотканых оболочек периферических нервов, как: эпиневрив, периневрив и эндоневрив [2, 6, 9]. При этом согласно представленным данным преимущественно курской школы морфологов (Д.А. Сигалевич (1959), Е.М. Смоляр (1980), В.С. Польской (1991), М.А. Затолокина (2017), следует выделить еще одну соединительнотканную оболочку, связанную «самым интимным образом» с проводниковым компонентом периферического нерва, это так называемый «параневрий», или параневральные соединительнотканые структуры (ПСС) [2, 3, 5]. Морфологическим субстратом ПСС является плотная волокнистая соединительная ткань (ПВСТ), образующая фасциальные футляры и отходящие от них в разных направлениях соединительнотканые

перегородки, придающие ячеистое строение параневральному пространству, и рыхлая волокнистая соединительная ткань, в том числе и белая жировая ткань, заполняющие ячеистые пустоты. Наличие единичных работ, касающихся особенностей морфологической организации ПСС, и, как следствие, недостаточность сведений об их васкуляризации и иннервации послужили поводом для данного исследования [7–9].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение особенностей васкуляризации и иннервации параневральных соединительнотканых структур (параневрия) периферических нервов на примере ветвей плечевого сплетения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование было выполнено на периферических нервах ветвей плечевого сплетения в области средней трети плеча обеих конечностей лабораторных животных (крыс линии Вистар), содержащихся на стандартном пищевом рационе в условиях вивария, и/или в условиях гипокинезии (патент РФ № 82085 от 20.04.06 «Гипокинетическая камера для мелких лабораторных животных»). Все манипуляции с лабораторными животными проведены в соответствии с «Международными рекомендациями по проведению медико-биологических исследований с использованием животных» (1985) и правилами лабораторной практики в Российской Федерации (приказ МЗ РФ от 19.06.03 № 267). На работу получено одобрение регионального этического комитета (№ 6 от 08.06.09). Изучение особенностей васкуляризации и иннервации ПСС было проведено на поперечных и продольных срезах органокомплексов, состоящих из стволов периферических нервов, соединительнотканной стромы и окружающей поперечно-исчерченной мышечной ткани, а также пленочных препаратов оболочек нервов. Препараты окрашивали гематоксилином и эозином, по методу Ван Гизона, импрегнировали азотно-кислым серебром по Бильшовскому – Грос.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общеизвестно, что в функционировании нервного ствола как органа значение имеют не только морфофункциональное состояние основных оболочек (эндо-, эпи- и периневрия), но и свойства окружающих фасциально-клетчаточных образований или ПСС. С учетом данного факта проведенное исследование выявило ряд существенных особенностей, касающихся кровеносного микроциркуляторного русла «параневрия» у экспериментальных животных.

Несколько слов об особенностях пространственной организации соединительнотканых оболочек, окружающих пучки периферических нервов плечевого сплетения, в области средней трети

плеча у экспериментальных животных. Во-первых, следует отметить, что общая площадь соединительнотканых оболочек составляет более половины общей площади среза в указанной области периферических нервов, во-вторых, наблюдается прямая зависимость между увеличением количества нервных пучков и процентным содержанием соединительнотканых оболочек в поперечном срезе нервов плечевого сплетения. Относительно строения эпиневрия необходимо отметить, что в срезах хорошо визуализируется подразделение его на наружный, более плотный и внутренний или межпучковый – более рыхлый. Отмечается тенденция к увеличению толщины эпиневрия в дистальном направлении. Наблюдается также асимметрия в выраженности эпиневрия правой и левой конечностей. В эпиневии определяется большое количество кровеносных сосудов, которые и составляют основную базу для кровоснабжения проводникового аппарата. Кровеносные сосуды эпиневрия, проникая в его толщу, делятся на восходящие и нисходящие ветви. Внутренний эпиневирий, постепенно уплотняясь, переходит в периневрий, который образует плотные соединительнотканые футляры вокруг отдельных пучков нервных волокон. Он также подразделяется на наружный, содержащий коллагеновые волокна и значительное количество эластических, и внутренний, от которого во внутрь пучка отходят отростки, формирующие эндоневрий. Прослойки периневрия участвуют в разделении крупных нервных пучков на вторичные и третичные. Следует отметить, что отростки эндоневрия имеют наибольшую толщину в местах отхождения от внутреннего периневрия и по мере проникновения вглубь нервного ствола, дихотомически делясь, они все более истончаются. Эндоневральные прослойки, соединяясь между собой, пронизывают нервные пучки во всевозможных направлениях. Вокруг внутрипучковых кровеносных сосудов эндоневрий образует околососудистые муфты с отростками для сосудистых разветвлений.

Далее следует более подробно остановиться на морфологической характеристике ПСС и особенностях их кровоснабжения. В области средней трети плеча нервные стволы заключены в соединительнотканый футляр, являющийся производным фасциальных влагалищ соседних мышц и сохраняющих с ним связь посредством перемычек, которые расходятся в разных направлениях и пронизывают влагалище нерва, придавая ему ячеистое строение. В хорошо визуализируемых фасциальных прослойках и параневральной клетчатке располагаются сопровождающие нерв артерии, параневральные венозные коллекторы, коллатеральные нервные пучки. Ветви сопровождающих и питающих нерв артерий формируют микроциркуляторное русло ПСС, имеющее модульный тип строения. Плотность капиллярных сетей зависит от степени выраженности жировой клетчатки, расположенной между соединительнотканых строп. Общая организация

кровеносного русла ПСС, несмотря на наличие непосредственной связи с сосудами эпинеургии, имеет существенные отличия от таковой в эпинеуральной соединительной ткани. Прежде всего, следует отметить непрерывность образования артериальной сети ПСС благодаря наличию множества источников, образующихся из собственных артерий нерва и анастомотических ветвей из артерий окружающих мышц. Следует отметить, что распределение сосудов в «параневрии» имеет определенные закономерности. Артериолы проникают между жировыми дольками параневральной клетчатки, так что в зоне одного сосуда находится от одного до трех долек. Между жировыми ячейками располагаются межячейковые капилляры, которые образуют петли, охватывающие не каждую ячейку, а их группы. Эти узкие капилляры затем расширяются и сливаются, в результате чего образуются посткапиллярные венулы, по которым кровь отводится от жировых долек. Венулы относительно небольшого диаметра впадают в междольковые венулы, диаметр которых в 1,5–2 раза больше. В эпинеуральной же ткани наблюдается определенная сегментарность вхождения артериальных стволов в нерв. Отношение суммарной емкости венозных и артериальных сосудов в ПСС выше, чем в собственных оболочках нерва. Артерио-венозный коэффициент составляет 1:3,5 – 1:5 в «параневрии» и 1:1 – 1:2 в эпинеургии. Выявленная особенность является необходимой для организации «дренажных» путей нерва и прилегающих тканей, так как венозные коллекторы фасциально-клетчаточных образований вместе с прилегающими мышцами формируют венозные «помпы». На уровне микрососудистых звеньев постоянными находками в ПСС являются артериоларные и прекапиллярные сфинктеры типичного строения, умеренная извилистость артериальных звеньев, играющая роль гемодинамического буфера. Капиллярное и посткапиллярно-венулярное русло отличаются высокими резервными возможностями. На уровне капилляров они в наибольшей степени обеспечиваются в участках жировой клетчатки, содержащих многослойные мелкопетлистые сети из узких (резервных) капилляров. Посткапилляры и собирательные венулы характеризуются многочисленностью взаимосвязей, петлеобразной, аркадной архитектоникой, формированием конфлюэнтных структур.

Обращают на себя внимание следующие особенности микроциркуляторного русла параневрии: обилие тонких, нефункционирующих капилляров, что свидетельствует о больших резервных возможностях терминального отдела микроциркуляторного русла параневрии; многоступенчатость формирования артериальных и венозных звеньев микроциркуляторного русла. На фоне выраженного венозного сплетения параневрия расположением артериальных стволиков, подходящих к нервам, характеризуется относительной зональностью.

Свидетельством больших резервных возможностей сосудистого русла параневрия является также большое количество артерио-артериальных, вено-венозных, артериоло-венулярных анастомозов. Последние представлены относительно короткими соустьями, содержащими промежуточный сегмент. Наряду с шунтами в параневральной соединительной ткани определяется значительное количество полушунтов. Также следует отметить, что ПСС имеют выраженный нервный аппарат, образованный пучками нервных волокон различного диаметра, выходящих из нерва и паравазальными нервами. Среди нервных окончаний выявлены свободные усовидные и клубочковые рецепторы.

В экспериментальном исследовании при длительном нахождении крыс в условиях гипокинезии (60–90 суток) закономерность выделения ПСС или «параневрия» как околоорганного субстрата функционирования нервов получила подтверждение. В частности, наблюдалась реализация сосудистым руслом ПСС емкостных резервов капиллярного и посткапиллярно-венулярного звеньев. Выявлено выраженное формирование путей коллатерального кровотока, особенно за счет образования мощного околососудистого русла. Обнаружено как новообразование капилляров за счет роста эндотелиальных почек, так и гемодинамически обусловленные структурные преобразования предсуществующих микрососудов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В общей организации сосудистого русла наблюдается преобладание сложных трехмерных артериоло-венулярных комплексов над плоскостными сосудистыми сетями модульного типа. В совокупности с непрерывностью, многоступенчатостью формирования сосудистого русла ПСС составляют морфологический субстрат постоянства и регулируемости гемодинамики. Идентичная оценка может быть дана и многочисленным артериоло-венулярным анастомозам и клапанным структурам вен, обнаруживаемым в «параневрии» значительно чаще, чем в оболочках нерва.

Таким образом, особенности строения сосудистого русла ПСС периферических нервных стволов ветвей плечевого сплетения, как в норме, так и при экспериментальной гипокинезии, дают основание для выделения «параневрия» как необходимого анатомического субстрата функционирования нервных стволов. Функциональная целесообразность морфологической специфичности сосудистого русла ПСС очевидна, так как вытекает из необходимости создания наилучших, наиболее благоприятных условий для обменных процессов между стромальным и проводниковым компонентами периферического нерва.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баландина И.А., Судюков О.А., Веселовский А.Е. Морфологические изменения вторичных пучков плечевого

сплетения в различные сроки после их компрессии // Морфологические ведомости. – 2007. – № 3/4. – С. 12–15.

2. Затолокина М.А. К вопросу о структурной организации периферических нервов плечевого сплетения у представителей классов земноводные и пресмыкающиеся в сравнительном аспекте // Рос. мед.-биол. вестн. им. акад. И.П. Павлова. – 2016. – № 3. – С. 6–15.

3. Затолокина М.А. Морфологические признаки адаптации структурных компонентов периферических нервов в области средней трети плеча в сравнительном аспекте // Журн. анатомии и гистопатологии. – 2016. – Т. 5, № 1. – С. 20–25.

4. Затолокина М.А., Кузнецов С.Л., Иванов А.В., Польской В.С., Рязанова Л.М. Отличительные особенности в структурной организации периферических нервов сгибателей в области средней трети плеча у млекопитающих отряда парнокопытные // Вестн. ВолГМУ. – 2016. – № 1 (57). – С. 109–115.

5. Калмин О.В., Бочкарева И.В. Внутривольная структура общего малоберцового нерва в зрелом возрасте // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. – 2003. – № 2. – С. 72–81.

6. Aggarwal A. Anatomical variation in formation of brachial plexus and its branching / A. Aggarwal, N. Puri // Surg. Radiol. Anat. – 2010. – Vol. 32, № 9. – P. 891–894.

7. Michael P. Gordon daily electrical muscle stimulation enhances functional recovery following nerve transection and repair in rats / P. Michael, D. Cameron // Neurorehabil. Neural. Repair. – 2015. – Vol. 29, № 7. – P. 690–700.

8. Mittlmeier T. Management of severe soft-tissue trauma in the upper extremity shoulder, upper and lower arm / T. Mittlmeier, B.D. Krapohl, K.D. Schaser // Oper. Orthop. Traumatol. – 2010. – Vol. 22, № 2. – P. 196–211.

9. Mohammad A.M. Primary and delayed repair and nerve grafting for treatment of cut median and ulnar nerves / A.M. Mohammad, S.P. Jaafar, G.P. Jaafar // Pakistan J. Biol. Sci. – 2010. – Vol. 13, № 6. – P. 287–292.

REFERENCES

1. Balandina I.A., Sudjukov O.A., Veselovskij A.E. Morfologicheskie izmeneniya vtorichnyh puchkov plechevogo spletenija v razlichnye sroki posle ih kompressii [Morphological changes in the secondary bundles of the brachial plexus at various times after their compression]. *Morfologicheskiye vedomosti* [Morphological statements], 2007, no. 3/4, pp. 12–15. (In Russ.; abstr. in Engl.).

2. Zatolokina M.A. K voprosu o strukturnoj organizacii perifericheskikh nervov plechevogo spletenija u predstavitelej klassov zemnovodnye i presmykajushiesja v sravnitel'nom aspekte [To the question of the structural organization of the peripheral nerves of the brachial plexus in representatives of the amphibian and reptile classes in a comparative aspect]. *Ros. med.-biol. vestn. im. akad. I.P. Pavlova* [Russian Medical and Biological Bulletin named after academician I.P. Pavlov], 2016, no. 3, pp. 6–15. (In Russ.; abstr. in Engl.).

3. Zatolokina M.A. Morfologicheskie priznaki adaptacii strukturnykh komponentov perifericheskikh nervov v oblasti srednej treti plecha v sravnitel'nom aspekte [Morphological signs of adaptation of the structural components of peripheral nerves in the middle third of the shoulder in a comparative aspect]. *Zhurn. anatomii i gistopatologii* [Journal of Anatomy and Histopathology], 2016, Vol. 5, no. 1, pp. 20–25. (In Russ.; abstr. in Engl.).

4. Zatolokina M.A., Kuznecov S.L., Ivanov A.V., Pol'skoj V.S., Rjazaeva L.M. Otlichitel'nye osobennosti v strukturnoj organizacii perifericheskikh nervov sgitatelej v oblasti srednej treti plecha u mlekopitajushchih otrjada parnokopytnye [Distinctive features in the structural organization of the peripheral nerves of the flexors in the region of the middle third of the shoulder in mammals of the order artiodactyls]. *Vestn. VolgGMU* [Journal of Volgograd State Medical University], 2016, no. 1, pp. 109–115. (In Russ.; abstr. in Engl.).

5. Kalmin O.V., Bochkareva I.V. Vnutrivol'naja struktura obshhego malobercovogo nerva v zreloj vozraste [Intra-barrel structure of the common peroneal nerve in adulthood]. *Izvestija vysshix uchebnykh zavedenij. Povolzhskij region* [News of higher educational institutions. Volga region], 2003, no. 2, pp. 72–81. (In Russ.; abstr. in Engl.).

6. Aggarwal A. Anatomical variation in formation of brachial plexus and its branching. *Surg. Radiol. Anat.*, 2010, Vol. 32, no. 9, pp. 891–894.

7. Michael P. Gordon daily electrical muscle stimulation enhances functional recovery following nerve transection and repair in rats. *Neurorehabil. Neural. Repair*, 2015, Vol. 29, no. 7, pp. 690–700.

8. Mittlmeier T. Management of severe soft-tissue trauma in the upper extremity shoulder, upper and lower arm. *Oper. Orthop. Traumatol*, 2010, Vol. 22, no. 2, pp. 196–211.

9. Mohammad A.M. Primary and delayed repair and nerve grafting for treatment of cut median and ulnar nerves. *Pakistan J. Biol. Sci.*, 2010, Vol. 13, no. 6, pp. 287–292.

Контактная информация

Затолокина Мария Алексеевна – д. м. н., доцент, профессор кафедры гистологии, эмбриологии, цитологии, Курский государственный медицинский университет, e-mail: marika1212@mail.ru