

УДК 616.833-089.84

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma.63628>

ТОПОГРАФО-АНАТОМИЧЕСКИЕ И НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ НЕРВОВ ПО ТИПУ «КОНЕЦ-В-БОК»

© А.Ю. Ништ, Н.Ф. Фомин, В.П. Орлов

Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

Резюме. Представлены результаты комплексного анатомо-экспериментального исследования особенностей индивидуальной изменчивости в строении и топографии двигательных ветвей периферических нервов применительно к обоснованию способов селективной реиннервации тканей дистальных сегментов верхней конечности соединением нервов «конец-в-бок». Установлено, что характерные для узких и длинных конечностей относительно более длинные ветви периферических нервов с малым количеством соединительных межпучковых коллатералей создают условия для менее травматичной мобилизации двигательных ветвей. В противоположность этому, на конечностях с относительно широкими и короткими сегментами мобилизация ветвей периферических нервов затрудняется наличием большого количества внешних коллатеральных и внутривольных связей, которые часто повреждаются при выделении из состава основного нервного ствола отдельных пучков, составляющих мобилизуемые ветви как нерва-донора, так и нерва-реципиента. Показано, что потенциальными нервами-реципиентами должны быть двигательные ветви периферических нервов, сохранение которых имеет принципиальное значение для функции соответствующего сегмента конечности. Для создания морфологических условий, способствующих ранней селективной реиннервации функционально значимых мышечных групп, были разработаны, обоснованы и апробированы в эксперименте на анатомическом материале способы восстановления периферических нервов по типу «конец-в-бок». Основная идея ускоренного восстановления оппозиции большого пальца кисти при изолированных травмах проксимального отдела срединного нерва заключается в реиннервации мышц возвышения I пальца за счет пучка нервных волокон, находящихся в составе глубокой ветви локтевого нерва. С этой целью разработаны оперативные приемы соединения мобилизованной на уровне запястья возвратной двигательной ветви поврежденного срединного нерва с краями хирургически сформированного дефекта периневрия на латеральной поверхности пучков, составляющих глубокую ветвь локтевого нерва. В другой клинической ситуации для ускоренного восстановления иннервации разгибательной мускулатуры предплечья при изолированных травмах лучевого нерва на высоком проксимальном уровне предложен способ транспозиции глубокой двигательной ветви лучевого нерва и последующего ее соединения по типу «конец-в-бок» с двигательными ветвями срединного нерва в области локтевого сустава. Есть основания предполагать, что восстановление на уровне кисти швом «конец-в-бок» возвратной двигательной ветви срединного нерва в случае высокого повреждения срединного нерва (первый вариант операции) позволит сократить время реиннервации мышц возвышения большого пальца на 400–450 суток, а если выполнить перемещение двигательной порции лучевого нерва в локтевой ямке при проксимальном его повреждении на уровне основания плеча (второй вариант) — на 250–300 суток (исходя из общей длины плеча и предплечья, составляющей около 50 см, и скорости регенерации нервных волокон 1 мм в сутки). Соответственно, при более высоких повреждениях (на уровне плечевого сплетения) выигрыш во времени реиннервации дистальных сегментов будет еще большим. Результаты исследований, на наш взгляд, могут быть положены в основу дальнейших клинических исследований по разработке и внедрению методов ускоренной селективной реиннервации тканей при травмах периферических нервов конечностей.

Ключевые слова: периферический нерв; строение периферических нервов; индивидуальная анатомическая изменчивость периферических нервов; травма периферических нервов; шов нервов «конец-в-бок»; регенерация нервов; реиннервация тканей.

Как цитировать:

Ништ А.Ю., Фомин Н.Ф., Орлов В.П. Топографо-анатомические и нейрохирургические аспекты восстановления периферических нервов по типу «конец-в-бок» // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2021. Т. 23, № 1. С. 121–128. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma.63628>

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma.63628>

TOPOGRAPHICAL, ANATOMICAL AND NEUROSURGICAL ASPECTS OF "END-TO-SIDE" NERVE REPAIR

© A.Y. Nisht, N.F. Fomin, V.P. Orlov

Military Medical Academy named after S.M. Kirov, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT: The article presents the results of a comprehensive anatomical and experimental study of individual variability in the structure and topography of motor branches of peripheral nerves in relation to the justification of methods for selective reinnervation of tissues by the "end-to-side" neurorrhaphy. It was found that relatively longer branches of peripheral nerves with a small number of connecting inter-arm collaterals characteristic of narrow and long limbs create conditions for less traumatic mobilization of motor branches. In cases with relatively wide and short extremities mobilization of peripheral nerves is complicated by the presence of a large number of collateral branches and intra-trunk connections, which are often damaged when separate bundles that make up the mobilized branches of the donor or recipient nerve are isolated from the main nerve trunk. It has been shown that potential recipient nerves should be motor branches of peripheral nerves, the preservation of which is of fundamental importance for the function of the corresponding segment of the limb. To create conditions conducive to selective reinnervation of functionally significant muscle groups of the upper limb, we have developed, justified from anatomical positions, and tested in an experiment on anatomical material methods for connecting the distal motor branches of peripheral nerves by the "end-to-side" neurorrhaphy. The main idea of accelerated recovery of the thumb opposition in injuries of the median nerve is to reinnervate the muscles of the elevation of the I finger due to nerve fibers that are part of the deep branch of the ulnar nerve. For this purpose, surgical techniques have been developed for connecting the recurrent motor branch of the damaged median nerve mobilized at the level of the wrist with the edges of a surgically formed perineurium defect on the lateral surface of the bundles that make up the deep branch of the ulnar nerve. In another clinical situation, in patients with radial nerve injuries, for the muscle reinnervation, a method is proposed for neurotisation of the deep motor branch of the radial nerve by the end-to-side suture to the lateral surface of the median nerve. We assume that performing the "end-to-side" nerve suture at the level of the base of the hand in the cases of proximal damage to the median nerve will reduce the time of reinnervation of the muscles of the thumb elevation by 400–450 days. Transposition of the deep branch of the damaged at the proximal level radial nerve with "end-to-side" neurorrhaphy to the median nerve — by 250–300 days (based on the total length of the shoulder and forearm, which is about 50 cm and the rate of regeneration of nerve fibers 1 mm per day). Accordingly, with higher injuries (brachial plexus), the gain in the time of reinnervation of the distal segments will be even greater. In our opinion, the results can be used as a basis for further clinical research on the development of methods for selective tissue reinnervation in cases with isolated injuries of the peripheral nerves.

Keywords: peripheral nerve; structure of peripheral nerves; individual anatomical variability of peripheral nerves; peripheral nerve injury; "end-to-side" neurorrhaphy; nerve regeneration; reinnervation of tissues.

To cite this article:

Nisht AY, Fomin NF, Orlov VP. Topographical, anatomical and neurosurgical aspects of end-to-side nerve repair. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2021;23(1):121–128. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma.63628>

Received: 14.01.2021

Accepted: 16.02.2021

Published: 26.03.2021

ВВЕДЕНИЕ

Восстановление двигательной иннервации, утраченной при травмах периферических нервов, является актуальной задачей реконструктивной хирургии. В общей структуре травматизма различные виды повреждений периферических нервов отмечаются у 3–6% пострадавших [1–3]. Среди пациентов с травмами периферических нервов основную долю составляют лица молодого и трудоспособного возраста [4]. Несмотря на активное развитие медицинских технологий и широкие возможности современной реконструктивной микрохирургии, из-за особого механизма регенерации поврежденных нервных волокон и чрезвычайной длительности данного процесса прогнозы на восстановление иннервации тканей при травмах периферических нервов в большинстве случаев носят неопределенный характер, а последствия посттравматических невропатий и плексопатий часто становятся причиной инвалидности [2, 5, 6].

В развитие идеи восстановления утраченной иннервации тканей путем вшивания периферического сегмента поврежденного нерва (нерва-реципиента) в бок соседнего нерва (нерва-донора), нашедшей подтверждение в эффективности данного вида реконструктивных вмешательств по результатам единичных клинических наблюдений последнего времени [7, 8] и комплексных экспериментальных работ, включая наши собственные исследования [9, 10–13], выполнено топографо-анатомическое исследование для обоснования возможности и техники выполнения таких операций при травмах периферических нервов верхней конечности.

Цель исследования — изучить особенности индивидуальной анатомической изменчивости двигательных ветвей периферических нервов применительно к обоснованию способов селективной реиннервации тканей дистальных сегментов верхней конечности соединением нервов «конец-в-бок».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено на 52 верхних конечностях трупов. Морфоскопическими и морфометрическими методами на 37 фиксированных конечностях исследованы особенности строения и индивидуальной анатомической изменчивости двигательных ветвей периферических нервов, и определена их зависимость от формы внешнего строения соответствующих сегментов применительно к обоснованию с топографо-анатомических позиций возможности селективной реиннервации тканей швом периферических нервов «конец-в-бок». На 15 слабофиксированных конечностях проведено моделирование отдельных этапов реконструктивных микрохирургических вмешательств с соединением периферических нервов по типу «конец-в-бок» для определения возможности и условий выполнения таких хирургических операций.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проанализировав и сопоставив опубликованные в доступной литературе результаты восстановления периферических нервов соединением «конец-в-бок», которые были выполнены в клинике и в условиях эксперимента, мы пришли к заключению, что относительно низкая эффективность данного способа восстановления периферических нервов, отмечаемая у пациентов, обоснована не только изначально более сложным строением периферической нервной системы у человека, но и существенно большими функциональными требованиями, предъявляемыми к реиннервируемым сегментам конечностей человека. Следовательно, для улучшения клинических результатов восстановления иннервации тканей соединением периферических нервов «конец-в-бок» необходимо обосновать такие анатомо-топографические условия, которые принципиально были бы сопоставимы с условиями, позволившими получать наилучшие исходы в наших экспериментах на животных.

Исходя из линейных размеров соединяемых ветвей периферических нервов лабораторных животных и удаленности зоны оперативного вмешательства от тканей целевых зон в эксперименте, мы предположили, что схожие условия могут быть достигнуты при соединении швом «конец-в-бок» отдельных дистальных двигательных ветвей поврежденного нервного ствола с пучками интактного нерва-донора.

На препаратах верхних конечностей были рассчитаны индексы формы внешнего строения плеча и предплечья, отражавшие отношение длины к ширине соответствующего сегмента. Для плеча вариабельность индекса формы внешнего строения составила от 3,1 до 4,7 отн. ед., а для предплечья — от 3,7 до 5 отн. ед. Крайние формы сегментов верхней конечности с наименьшими значениями индекса считали относительно короткими и широкими, а с наибольшими значениями — относительно узкими и длинными. Таким образом, весь диапазон индивидуальных различий формы сегментов верхней конечности можно было расположить в виде вариационного ряда по увеличению значения индекса формы сегмента от относительно коротких и широких к относительно узким и длинным конечностям. В середине данного ряда располагались препараты с промежуточными значениями индекса формы строения конечности.

Заметим, что среди препаратов верхних конечностей, на которых один из сегментов имел значение индекса формы близкое к одному из крайних значений, другой сегмент не всегда соответствовал той же форме. Из всех исследованных препаратов относительно широкое и короткое плечо и одновременно такое же предплечье отмечены в 3 случаях из 37, а относительно узкие и длинные оба сегмента — в 5 случаях из 37. На остальных препаратах один из сегментов можно было по значению индекса отнести к одной из крайних форм, а для

смежного сегмента значение индекса имело промежуточное значение.

Промежуточной формой внешнего строения обоих сегментов верхней конечности обладали 13 препаратов, которые имели средние значения индексов формы плеча и предплечья. Следовательно, смежные сегменты верхней конечности имеют близкое, но не одинаковое внешнее строение. Даже в случаях, когда один из сегментов по соотношению длины и ширины относится к одной из крайних форм внешнего строения, это не всегда предполагает ту же форму для смежного сегмента. Вместе с тем препаратов, на которых плечо и предплечье принадлежали бы к противоположным формам строения по расчетам индексов формы тела, не выявлено. Данный факт означает, что, несмотря на наличие выраженной корреляции между длиной плеча и предплечья ($r = 0,83$), общая длина всей конечности не всегда изменяется пропорционально за счет обоих сегментов.

Вариабельность внешнего строения двигательных ветвей периферических нервов верхней конечности была выражена в значительной степени. Уровень формирования двигательных ветвей, угол их отхождения, количество и длина ветвей, а также локализация сосудисто-нервных ворот соответствующих мышц варьировали в широких пределах.

При исследовании зависимости длины двигательных ветвей от морфометрических характеристик соответствующих сегментов конечностей в большинстве случаев определялась умеренная положительная корреляция. Самая сильная зависимость определена между длиной органических ветвей нервов для плечевой мышцы и расстоянием между надмышелками плечевой кости ($r = 0,82$), в то время как в отношении длины тех же ветвей к длине плеча отмечалась менее выраженная связь ($r = 0,49$).

В связи с тем, что общие особенности внешнего строения периферической нервной системы и внутривольного строения большинства периферических нервов достаточно полно изучены и широко представлены в доступной анатомической литературе, при проведении собственного исследования наибольшее внимание было уделено оценке тех особенностей строения и индивидуальной анатомической изменчивости периферических нервов верхней конечности, которые имеют значение для топографо-анатомического обоснования способов селективной двигательной реиннервации тканей соединением периферических нервов «конец-в-бок».

С учетом большой удаленности собственных мышц кисти и частых выраженных атрофических процессах при обширных проксимальных дефектах нервных стволов дистальная реиннервация их путем соединения периферических нервов «конец-в-бок» наиболее актуальна. Двигательная иннервация кисти осуществляется ветвями срединного и локтевого нервов, но области их представительства неодинаковы. Большую часть собственных мышц кисти иннервирует локтевой нерв, в то

время как за счет конечных ветвей срединного нерва обеспечивается иннервация небольшой, но функционально значимой для данного сегмента конечности группы мышц, осуществляющих при своем сокращении оппозицию большого пальца. Из этих сопоставлений следует, что при проксимальных травмах *n. medianus* в рассматриваемой паре нервов потенциальным нервом-реципиентом является возвратная двигательная ветвь срединного нерва, а потенциальным нервом-донором — глубокая ветвь локтевого нерва.

Иннервация мышц латерального и заднего костно-фасциальных футляров предплечья осуществляется исключительно дистальными двигательными ветвями лучевого нерва, что предполагает отсутствие каких-либо компенсаторных возможностей восстановления разгибания кисти и пальцев при изолированных травмах лучевого нерва на высоком проксимальном уровне. Потенциальным нервом-донором для восстановления двигательной иннервации указанных мышечных групп является срединный нерв, что обосновано наиболее близким его расположением относительно глубокой ветви лучевого нерва на уровне локтевого сустава и проксимальной трети предплечья.

Особенности синтопии периферических нервов, составляющих потенциальные пары «донор-реципиент», исследованы на анатомическом материале, позволившем выявить отличия в удаленности данных нервных стволов на препаратах, различных по форме внешнего строения конечностей (табл. 1).

Представленные в табл. 1 данные, характеризующие изменчивость топографии периферических нервов, имели значение при обосновании разрабатываемых методов восстановления периферических нервов.

На препаратах с относительно широкими сегментами средние значения расстояния между потенциальными парами нервов «донор — реципиент» были больше, чем на препаратах с относительно узкими сегментами. При этом выявленные различия удаленности глубокой ветви лучевого нерва от срединного нерва были статистически незначимы. Расстояние между локтевым и срединным нервами в нижней трети предплечья на различных по форме внешнего строения предплечьях имели достоверные ($p < 0,01$) отличия между средними значениями около 5 мм.

Помимо расстояния между нервом-донором и нервом-реципиентом существенное значение для технической стороны реконструктивных вмешательств на периферических нервах соединением «конец-в-бок» имеет длина нерва-реципиента, от которой напрямую зависит возможность его мобилизации, транспозиции и сближения с нервом-донором для последующего соединения нервов «конец-в-бок» (табл. 2).

Наибольшие значения длины потенциальных нервов-доноров отмечались на конечностях с относительно узкими сегментами. При сравнении препаратов

Таблица 1. Различия синтопии периферических нервов, составляющих потенциальные пары «донор — реципиент», в зависимости от формы внешнего строения сегментов конечностей**Table 1.** Differences in the syntopia of peripheral nerves that make up potential "donor — recipient" pairs, depending on the shape of the external structure of the limb segments

Потенциальные пары нервов «донор — реципиент»	Уровень измерений	Различия удаленности нервов на разных по форме внешнего строения конечностях, см	
		относительно широкие конечности	относительно узкие конечности
Локтевой нерв — срединный нерв	Линия, соединяющая шиловидные отростки лучевой и локтевой костей	2,28 ± 0,29 (95% ДИ = от 2,08 до 2,48)	1,83 ± 0,11 (95% ДИ = от 1,74 до 1,90)
Срединный нерв — лучевой нерв	Линия, соединяющая надмыщелки плечевой кости	2,89 ± 0,51 (95% ДИ = от 2,54 до 3,24)	2,55 ± 0,31 (95% ДИ = от 2,36 до 2,74)

Таблица 2. Зависимость длины потенциальных нервов-реципиентов от формы внешнего строения конечностей**Table 2.** Dependence of the length of potential recipient nerves on the shape of the external structure of the limbs

Потенциальный нерв-реципиент	Различия удаленности нервов на разных по форме внешнего строения конечностях, см	
	относительно широкие конечности	относительно узкие конечности
Возвратная двигательная ветвь срединного нерва (от уровня формирования до сосудисто-нервных ворот мышц возвышения большого пальца)	1,35 ± 0,35 (95% ДИ = от 0,98 до 1,72)	1,87 ± 0,45 (95% ДИ = от 1,46 до 2,28)
Глубокая ветвь лучевого нерва (от уровня формирования до верхнего отверстия супинаторного канала)	2,69 ± 0,41 (95% ДИ = от 2,42 до 2,96)	3,51 ± 0,57 (95% ДИ = от 3,17 до 3,85)

с различной формой внешнего строения сегментов верхней конечности статистически значимых различий длины возвратной двигательной ветви срединного нерва для мышц возвышения большого пальца не выявлено. Вместе с тем на конечностях с относительно узкими сегментами длина глубокой ветви лучевого нерва была достоверно ($p = 0,002$) больше по сравнению с относительно широкими конечностями.

При моделировании на анатомическом материале отдельных этапов восстановления периферических нервов «конец-в-бок» была выявлена определенная степень влияния различий в строении и топографии периферических нервов верхней конечности на особенности выполнения оперативных приемов. В частности, между вторичными ветвями отмечалось разное количество соединительных ветвей и анастомозов, что было связано с формой соответствующего сегмента.

На относительно узких и длинных конечностях, для которых характерным являлось наличие относительно обособленных ветвей периферических нервов, практически не отмечалось межпучковых связей. В таких случаях выделение из состава основного нервного ствола отдельных периневральных футляров, составлявших мобилизуемую двигательную ветвь, не сопровождалось особыми трудностями. После рассечения наружной эпиневральной оболочки диссекция внутреннего эпиневрания позволяла

выделить отдельные периневральные футляры на значительном протяжении практически без повреждения внутриствольных межфутлярных связей.

Конечности с относительно широкими и короткими сегментами отличались сетевидной формой строения периферических нервов с большим количеством соединительных анастомозов между вторичными ветвями. После рассечения наружного эпиневрания отмечалось большое количество внутриствольных межфутлярных переходов, соединяющих соседние пучки. В таких условиях мобилизация двигательных ветвей была относительно затруднена и сопровождалась повреждением отдельных мостиков между соседними периневральными футлярами.

Таким образом, характерные для узких и длинных конечностей особенности строения и топографии периферических нервов, отличающиеся относительно более длинными ветвями нервов и малым количеством соединительных межпучковых коллатералей, будут создавать условия для менее травматичной мобилизации двигательных ветвей в интересах селективной реиннервации тканей швом периферических нервов «конец-в-бок». В противоположность этому, на конечностях с относительно широкими и короткими сегментами мобилизация ветвей периферических нервов будет затруднена наличием большого количества коллатеральных

и внутривольных связей, вероятность повреждения которых при выделении из состава основного нервного ствола отдельных пучков, составляющих мобилизуемые ветви нерва-донора или нерва-реципиента, выше.

Для создания условий, способствующих селективной реиннервации функционально значимых мышечных групп верхней конечности, нами были разработаны, обоснованы с анатомических позиций, апробированы в эксперименте на анатомическом материале и получены свидетельства государственного образца на способы соединения дистальных двигательных ветвей периферических нервов «конец-в-бок» с нервными стволами, расположенными в непосредственной близости относительно друг друга (рис.).

Основная идея ускоренного восстановления оппозиции большого пальца кисти при изолированных травмах проксимального отдела срединного нерва заключается в реиннервации мышц возвышения I пальца за счет нервных волокон, находящихся в составе глубокой ветви локтевого нерва при соединении мобилизованной на уровне запястья возвратной двигательной ветви поврежденного срединного нерва с краями хирургически сформированного дефекта периневрия на латеральной поверхности пучков, составляющих глубокую ветвь локтевого нерва (патент РФ № 2718740 от 14.04.2020).

По данным нашего целенаправленного исследования сосудисто-нервных пучков ладонной области кисти, двигательная ветвь срединного нерва для мышц возвышения I пальца (нерв-реципиент) занимает на уровне запястья самое латеральное положение в составе срединного нерва при условии расположения кисти в позиции супинации. На относительно узких и длинных конечностях данная ветвь может быть мобилизована, включая выделение составляющих ее пучков из состава срединного нерва, до уровня лучезапястного сустава.

После визуализации глубокой ветви локтевого нерва (нерв-донор) на ее наружной поверхности вскрывают эпинеуральную оболочку, и на уровне предполагаемого соединения на одном или нескольких пучках из состава глубокой ветви локтевого нерва хирургическим способом формируется дефект периневрия, равный диаметру нерва-реципиента. Периневральный футляр двигательной ветви срединного нерва соединяют по типу «конец-в-бок» микрохирургическими швами с краями дефекта периневрия глубокой ветви локтевого нерва.

Для ускоренного восстановления иннервации разгибательной мускулатуры предплечья при изолированных травмах лучевого нерва на высоком проксимальном уровне нами предложен способ транспозиции глубокой двигательной ветви лучевого нерва и последующего ее соединения по типу «конец-в-бок» с двигательными ветвями срединного нерва в области локтевого сустава (патент РФ № 2726590 от 14.07.2020).

Глубокая ветвь лучевого нерва (нерв-реципиент) после мобилизации в передней латеральной локтевой борозде и пересечения в верхнем отделе доступа переводится через сформированный между плечевой мышцей и дистальным отделом двуглавой мышцы плеча канал на медиальную сторону к срединному нерву (нерв-донор). На боковой поверхности отдельных пучков срединного нерва, составляющих двигательные ветви для двух поверхностных слоев мышц переднего костно-фасциального футляра предплечья, формируют микрохирургические периневральные дефекты для соединения их швами с пучками мобилизованной глубокой ветви лучевого нерва.

Как в первом, так и во втором случаях микрохирургическое вмешательство, выполненное с соединением периферических нервов «конец-в-бок», на наш взгляд, будет создавать условия для реиннервации отдельных

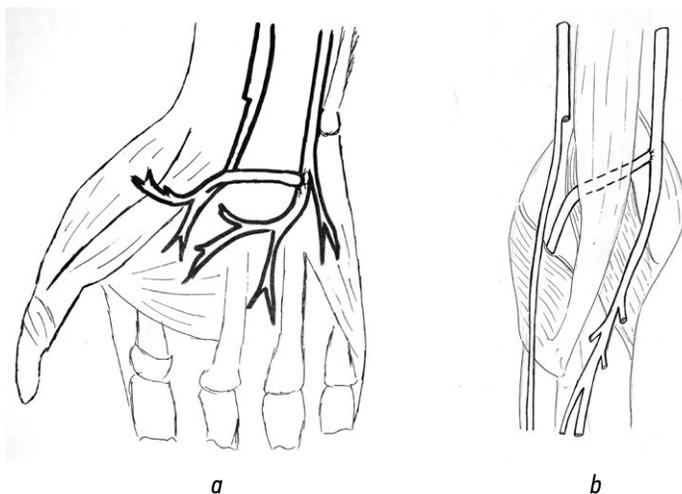


Рис. Способы селективной реиннервации мышц верхней конечности соединением периферических нервов «конец-в-бок» (схематично): *a* — для восстановления оппозиции большого пальца; *b* — для восстановления иннервации разгибательной мускулатуры предплечья

Fig. Methods of selective reinnervation of upper limb muscles by connecting peripheral nerves «end-to-side» (schematically): *a* — to restore the opposition of the thumb; *b* — to restore the innervation of the extensor muscles of the forearm

двигательных ветвей поврежденного нерва за счет регенерирующих волокон нерва-донора. Последние неизбежно повреждаются на этапе формирования дефекта отдельных пучков, в составе которых идут преимущественно двигательные ветви.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного топографо-анатомического исследования изучены особенности внешнего и внутриствольного строения и топографии наиболее функционально значимых двигательных ветвей периферических нервов верхней конечности, и выявлена их связь с формой внешнего строения соответствующих сегментов. Определено значение индивидуальной анатомической изменчивости периферической нервной системы для выполнения внутриствольных реконструктивных микрохирургических вмешательств на периферических нервах. Характерные для узких и длинных конечностей относительно более длинные ветви периферических нервов с малым количеством соединительных межпучковых коллатералей создают условия для менее травматичной мобилизации двигательных ветвей. В противоположность этому, на конечностях с относительно широкими и короткими сегментами мобилизация

ветвей периферических нервов затрудняется наличием большого количества внешних коллатеральных и внутриствольных связей, которые часто повреждаются при выделении из состава основного нервного ствола отдельных пучков, составляющих мобилизуемые ветви как нерва-донора, так и нерва-реципиента.

Есть основания предполагать, что выполнение шва нерва «конец-в-бок» на уровне основания кисти в случае высокого повреждения срединного нерва позволит сократить время реиннервации мышц возвышения большого пальца на 400–450 суток, а если выполнить перемещение двигательной порции лучевого нерва в локтевой ямке при проксимальном его повреждении на уровне основания плеча — на 250–300 суток. Расчеты сделаны исходя из общей длины плеча и предплечья, составляющей около 50 см, и скорости регенерации нервных волокон 1 мм в сутки. Соответственно, при более высоких повреждениях (на уровне плечевого сплетения) выигрыш во времени реиннервации дистальных сегментов будет еще большим.

Результаты представленных исследований могут быть положены в основу дальнейших клинических исследований по разработке методов ускоренной селективной реиннервации тканей при травмах периферических нервов конечностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берснев В.П., Кокин Г.С., Извекова Т.О. Анатомо-физиологические особенности заболеваний и повреждений периферических нервов. В кн.: Практическое руководство по хирургии нервов. М., 2017. С. 15–32.
2. Вишневецкий В.А. Причины, диагностические ошибки при повреждениях периферических нервов конечностей // Запорожский медицинский журнал. 2014. № 4 (85). С. 50–55.
3. Говенько Ф.С. Хирургия повреждений периферических нервов. СПб.: Феникс, 2010.
4. Одинак М.М., Живолупов С.А., Федоров К.В., Лифшиц М.Ю. Нарушение невральности проводимости при травматической невропатии (патогенез, клинические синдромы, диагностика и лечение) // Военно-медицинский журнал. 2008. № 2. С. 28–39.
5. Живолупов С.А., Гневышев Е.Н., Рашидов Н.А., Самарцев И.Н. Нейропластические закономерности восстановления функций при травматических невропатиях и плексопатиях // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2015. № 1 (49). С. 81–90.
6. Ходжамурадов Г.М., Давлатов А.А., Исмоилов М.М., и др. Прогнозирование двигательных результатов пластики нервных стволов верхних конечностей // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2012. № 3. С. 898–900.
7. Байтингер В.Ф., Байтингер А.В. Шов нерва «конец-в-бок»: стратегия «получения» аксонов из интактного нерва (часть I) // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. 2013. № 2 (45). С. 6–12.
8. Millesi H., Schmidhammer R. End-to-side coaptation – controversial research issue or important tool in human patients // Acta Neurochir. 2007. Vol. 100. P. 103–106.
9. Lundborg G., Zhao Q., Kanje M., et al. Can sensory and motor collateral sprouting be induced from intact peripheral nerve by end-to-side anastomosis? // J Hand Surg (Brit). 1994. Vol. 19. P. 277–282.
10. Viterbo F., Teixeira E., Hoshino K., Padovani C.R. End-to-side neurorrhaphy with and without perineurium // Sao Paulo Med J. 1998. Vol. 116. P. 1808–1814.
11. Viterbo F., Brock R.S., Maciel F., et al. End-to-side versus end-to-end neurorrhaphy at the peroneal nerve in rats // Acta Cir Bras. 2017. Vol. 32, No. 9. P. 697–705. doi: 10.1590/s0102-865020170090000002
12. Yan J.G., Shen F.Y., Thayer J., et al. Repair of the musculocutaneous nerve using the vagus nerve as donor by helicoid end-to-side technique: an experimental study in rats // J Neurosci Res. 2017. Vol. 95, No. 12. P. 2493–2499. doi: 10.1002/jnr.24074
13. Ништ А.Ю., Фомин Н.Ф., Имельбаев А.И., Микулич А.А. Восстановление двигательной иннервации соединением периферических нервов по типу «конец-в-бок»: экспериментальное моделирование и клиничко-инструментальный контроль реиннервации // Вестник экспериментальной и клинической хирургии. 2020. № 2 (46). С. 24–33.

REFERENCES

1. Bersnev VP, Kokin GS, Izvekova TO. Anatomico-fiziologicheskie osobennosti zabolevanij i povrezhdenij perifericheskikh nervov. In: *Prakticheskoe rukovodstvo po hirurgii nervov*. Moscow; 2017. P. 15–32. (In Russ.)
2. Vishnevskij VA. Reasons and diagnostic errors in cases of the peripheral nerves of extremities injuring. *Zaporozhskij medicinskij zhurnal*. 2014;4(85):50–55. (In Russ.)
3. Goven'ko FS. *Hirurgija povrezhdenij perifericheskikh nervov*. Saint-Petersburg: Feniks; 2010. (In Russ.)
4. Odinak MM, Zhivolupov SA, Fedorov KV, Lifshic MJu. Distortion of conductivity in conditions of traumatical neuropathies (pathogens, clinical syndromes, treatment and diagnostics). *Voенно-medicinskij zhurnal*. 2008;2:28–39. (In Russ.)
5. Zhivolupov SA, Gnevyshev EN, Rashidov NA, Samarcev IN. Neuroplastic patterns of functions restoration in case of traumatic neuropathies and plexopathies. *Vestnik Rossijskoj Voенno-medicinskoj akademii*. 2015;1(49):81–90. (In Russ.)
6. Khodzhamuradov GM, Davlatov AA, Ismoilov MM, et al. Prognosis of motor results of nerve grafting of upper extremity. *Vestnik Tambovskogo universiteta*. Serija: Estestestvennyye i tehicheskie nauki. 2012;3:898–900. (In Russ.)
7. Bajtinger VF, Bajtinger AV. End-to-side nerve suture: strategy of "obtaining" axones from the intact nerve (part I). *Voprosy rekonstruktivnoj i plasticheskoy hirurgii*. 2013;2(45):6–12. (In Russ.)
8. Millesi H, Schmidhammer R. End-to-side coaptation – controversial research issue or important tool in human patients. *Acta Neurochir*. 2007;100:103–106.
9. Lundborg G, Zhao Q, Kanje M, et al. Can sensory and motor collateral sprouting be induced from intact peripheral nerve by end-to-side anastomosis? *J Hand Surg (Brit)*. 1994;19:277–282.
10. Viterbo F, Teixeira E, Hoshino K, Padovani CR. End-to-side neurorrhaphy with and without perineurium. *Sao Paulo Med J*. 1998;116:1808–1814.
11. Viterbo F, Brock RS, Maciel F, et al. End-to-side versus end-to-end neurorrhaphy at the peroneal nerve in rats. *Acta Cir Bras*. 2017;32(9):697–705. doi: 10.1590/s0102-865020170090000002
12. Yan JG, Shen FY, Thayer J, et al. Repair of the musculocutaneous nerve using the vagus nerve as donor by helicoid end-to-side technique: an experimental study in rats. *J Neurosci Res*. 2017;95(12):2493–2499. doi: 10.1002/jnr.24074
13. Nisht AY, Fomin NF, Imelbaev AI, Mikulich AA. Restoration of motor innervation by the "end-to-side" neurorrhaphia: experimental modeling and clinical and instrumental control of reinnervation. *Journal of experimental and clinical surgery*. 2020;2(46):24–33. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

***Алексей Юрьевич Ништ**, кандидат медицинских наук, доцент; e-mail: nachmed82@mail.ru

Николай Федорович Фомин, доктор медицинских наук, профессор; e-mail: fominmed@mail.ru

Владимир Петрович Орлов, доктор медицинских наук, профессор; e-mail: vladimir.rlv@rambler.ru

AUTHORS INFO

***Nisht Alexey Yu.**, candidate of medical sciences, assistant professor; e-mail: nachmed82@mail.ru

Fomin Nikolay F., doctor of medical sciences, professor; e-mail: fominmed@mail.ru

Orlov Vladimir P., doctor of medical sciences, professor; e-mail: vladimir.rlv@rambler.ru