

Роль анатомо-топографических особенностей ангиоархитектоники и скольжения нерва для его восстановления

А.В. Козлов^{1,2}, П.А. Федорова^{1,2}, А.С. Анашкина^{1,2}, А.С. Сафарова^{1,2}, Д.А. Ким^{1,2},
Т.Н. Козлова^{1,2}

¹ Медицинский центр «Авиценна»

630007, г. Новосибирск, ул. Коммунистическая, 17/1

² Новосибирский государственный университет

630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1

Резюме

В современной концепции лечения больных с повреждениями периферических нервов главным является понимание механизма его скольжения и особенностей кровоснабжения. Изучая топографическую анатомию нерва, мы убеждаемся, что подвижность нерва имеется не только по отношению к окружающим его тканям, но и на уровне его внутренних пучков. В данной статье мы рассказываем о том, что имеется разная степень подвижности нерва в зависимости от зоны его нахождения, и что наибольшую степень подвижности имеет локтевой и срединный нервы на уровне дистальной трети предплечья. Для вычисления изменения скольжения нервов построена математическая модель измерения их подвижности при сгибании и разгибании в локтевом суставе, позволяющая персонализировать лоскутную пластику в зависимости от длины сосудистой ножки аутотрансплантата. Изучались анатомо-топографические особенности ангиоархитектоники нерва на различных уровнях, исследовались наличие и вариабельность расположения сосудистой ножки кровоснабжаемых аутотрансплантатов. Полученные знания необходимы для проведения реваскуляризации зоны поврежденного нерва различными вариантами аутотрансплантатов с автономным кровотоком. **Заключение.** Знания анатомо-топографических особенностей периферических нервов, их кровоснабжения и подвижности необходимы для их восстановления при различных травмах.

Ключевые слова: нерв, микрохирургия, повреждения нервов, реваскуляризация.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Автор для переписки: Федорова П.А., e-mail: FPolina19@yandex.ru

Для цитирования: Козлов А.В., Федорова П.А., Анашкина А.С., Сафарова А.С., Ким Д.А., Козлова Т.Н. Роль анатомо-топографических особенностей ангиоархитектоники и скольжения нерва для его восстановления. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2022;42(6):29–34. doi: 10.18699/SSMJ20220603

The role of anatomical and topographic features of angioarchitectonics and nerve gliding for its recovery

A.V. Kozlov^{1,2}, P.A. Fedorova^{1,2}, A.S. Anashkina^{1,2}, A.S. Safarova^{1,2}, D.A. Kim^{1,2},
T.N. Kozlova^{1,2}

¹Avicenna Medical Center

630007, Novosibirsk, Kommunisticheskaya str., 17/1

²Novosibirsk State University

630090, Novosibirsk, Pirogov str., 1

Abstract

In the modern concept of treatment of patients with injuries of peripheral nerves, the main thing is to understand the mechanism of its sliding and the peculiarities of blood supply. Studying the nerve topographic anatomy, we are convinced that the mobility of the nerve exists not only in relation to the tissues surrounding it, but also at the level

of its inner bundles. In this article, we report on the different degree of nerve mobility depending on its location zone, and that the ulnar and median nerves have the highest degree of mobility at the level of the forearm distal third. To calculate the change in the glide of the nerves, a mathematical model was constructed to measure their mobility during flexion and extension in the elbow joint, allowing to personalize the flap plasty depending on the length of the autograph vascular pedicle. The anatomical and topographic features of the angioarchitectonics of the nerve at various levels were studied, the presence and variability of the location of the vascular pedicle of blood-supplied autografts were studied. The obtained knowledge is necessary for carrying out revascularization of the damaged nerve zone with various types of autografts with autonomous blood flow. **Conclusions.** Knowledge of the anatomical and topographic features of peripheral nerves, their blood supply and mobility is necessary for their recovery for various injuries.

Key words: nerve, microsurgery, nerve damage, revascularization.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Correspondence author: Fedorova P.A., e-mail: FPolina19@yandex.ru

Citation: Kozlov A.V., Fedorova P.A., Anashkina A.S., Safarova A.S., Kim D.A., Kozlova T.N. The role of anatomical and topographic features of angioarchitectonics and nerve gliding for its recovery. *Sibirskij nauchnyj medicinskij zhurnal* = *Siberian Scientific Medical Journal*. 2022;42(6):29–34. [In Russian]. doi: 10.18699/SSMJ20220603

Введение

Одним из существенных моментов современной концепции лечения больных с повреждениями периферических нервов является, на наш взгляд, внимание к такому немаловажному аспекту, как механизмам скольжения нерва. В литературе данный момент освещается довольно скупо. Нерв обладает значительной подвижностью по отношению к окружающим тканям, также имеет подвижность нервного ствола в пределах эпинеурия. Хотелось бы отметить, что кровеносные сосуды вступают в нерв по его каудальной части через мезоневрий, т.е. длина сосудистой ножки нерва определяет подвижность нерва на данном участке [1]. Именно наличие такого механизма позволяет сохранить подвижность нерва и кровообращение на определенном участке при изменении положения в суставах конечности.

Топографические особенности нервов

Определенная подвижность нерва имеется и на уровне внутренних структур нерва, а именно пучков. Анализ топографической анатомии нервных стволов позволил выделить зоны с «суставным» типом сближения концов нерва, когда положение конечности играет существенную роль в этом сближении, и «диафизарные», когда данный аспект существенного значения не имеет [2]. При проведении топографо-анатомического исследования мы установили, что в зонах с «суставным» типом сближения концов поврежденного нерва имеются следующие особенности кровотока нервов: наличие выраженной брыжейки нервных стволов; длина сосудистой ножки кровоснабжающих нерв сосудов позволяет выполнять полный объем поступательных движений нерва; кровообращение нерва в «суставных» зонах из-за на-

личия значительной степени подвижности имеет II–III тип [2, 3].

Подвижность периферических нервов

Для определения степени подвижности нерва в различных зонах возможного повреждения мы изучили диссертационную работу Л.М. Афанасьева. Автор выполнял макро- и микропрепаровку нервных стволов в зонах проксимальной, дистальной, средней трети плеча и предплечья, бриллиантовым зеленым делал метки на нервном стволе и проводил фиксацию инъекционной иглой зоны маркировки к кости в положении максимального сгибания, а второй иглой – в положении максимального разгибания в ближайших суставах [4]. Проведенное исследование показало, что наибольшую степень подвижности имеет локтевой и срединный нервы на уровне дистальной трети предплечья (табл. 1).

Таким образом, мы можем заключить, что при выполнении направленной ревазуляризации, обертывании зоны повреждения нерва после шва различными видами лоскутов с автономным кровотоком нужно учитывать степень подвижности, различия в биомеханике нерва в определенных зонах для сохранения механизмов его скольжения. Однако следует отметить, что длина сосудистой ножки лоскута должна позволять выполнение поступательных движений нерва без нарушения кровотока по последней. Данный технический аспект крайне важен.

Вычисление изменения величины скольжения нервов

Для вычисления изменения величины скольжения нервов (D) вследствие растяжения при сгибании и разгибании в локтевом суставе в определенной точке была рассмотрена механическая

Таблица 1. Степень подвижности периферических нервов, см ($M \pm m$) [4]

Table 1. Degree of mobility of peripheral nerves, cm ($M \pm m$) [4]

Зона исследования	Срединный	Локтевой	Лучевой
Проксимальная треть плеча	$0,63 \pm 0,09^*$	$0,66 \pm 0,09^*$	$0,4 \pm 0,06^*$
Средняя треть плеча	$1,56 \pm 0,38$	$1,36 \pm 0,17$	$2,7 \pm 0,12$
Дистальная треть плеча	$2,66 \pm 0,2$	$2,56 \pm 0,22$	$0,6 \pm 0,06$
Проксимальная треть предплечья	$2,3 \pm 0,31$	$2,16 \pm 0,18$	–
Средняя треть предплечья	$1,46 \pm 0,15$	$1,66 \pm 0,32$	–
Дистальная треть предплечья	$0,46 \pm 0,15^*$	$0,53 \pm 0,09^*$	–

* Зоны с минимальной степенью подвижности.

модель сустава в виде цилиндрического шарнира с радиусом R (радиус локтевого сустава определяли по рентгенографии).

Для любого угла сгиба Q локтевого сустава длина срединного нерва равна сумме трех длин:

$$S = A + B + C,$$

где A – длина нерва вдоль плечевой кости (проксимальная точка отсчета – акромиально-ключичное сочленение, дистальная – наружный мыщелок плечевой кости); B – длина вдоль локтевой кости (дистальная точка – шиловидный отросток локтевой кости, проксимальная – внутренний мыщелок плечевой кости); C – длина вдоль окружности локтевого сустава (рисунок) [5]. Длины A и B в процессе сгибания и разгибания не меняются. Для длины участка нерва, лежащего на суставе, можно написать приближенное выражение через радиус R и угол сгиба Q . В максимально согнутом положении угол сгиба M приближенно равен 30° и длина C равна нулю.

Для сгиба с углом $Q > M$ выражение для C принимает вид:

$$C = 3,14 R (Q - M) / 180.$$

В выпрямленном положении угол $Q = 180^\circ$, и для максимальной длины C можно написать приближенное выражение:

$$C = 3,14 R (180 - 30) / 180 = 2,62 R.$$

Теперь вычислим относительное смещение точек срединного нерва в результате распрямления. Расстояние от запястья до заданной точки на нерве в максимально согнутом положении обозначим через X , в выпрямленном (растянутом)

положении – через Y . Поскольку нерв можно считать упругой пружиной с закрепленными концами, то величины X и Y связаны соотношением:

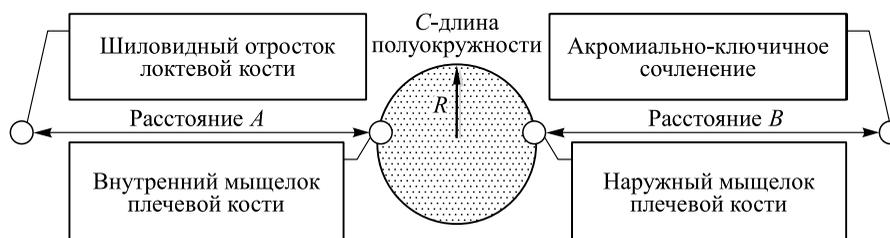
$$Y/X = (A + B + C)/(A + B).$$

Таким образом, смещение фиксированной точки в результате выпрямления относительно неподвижного канала равно

$$D = Y - X = CX/(A + B).$$

Например: радиус локтевого сустава (R) равен 2 см, длины $A = B = 31$ см. Производим изменение перемещения срединного нерва на расстоянии от лучезапястного сустава в максимально согнутом положении $X = 15$ см. Таким образом, $D = 2,62 \times 2 \times 15 / 62 = 1,27$ см. Это совпадает с данными исследования. В дистальной, средней трети предплечья подвижность срединного нерва составляет $(0,46 \pm 0,15) - (1,46 \pm 0,15)$ см.

Из формулы следует, что относительное смещение линейно растет при удалении от запястья и достигает максимального значения $CB/(A + B)$ в области локтевого сустава. Аналогичная зависимость имеет место для относительного смещения вдоль плечевой кости. При этом точкой отсчета для величин X и Y будет плечевой сустав (acroмиально-ключичное сочленение) [6]. Для вычисления растяжения локтевого нерва в результате сгибания можно применять такие же формулы. Однако нужно учесть, что внешний радиус локтевого сустава имеет большее значение по сравнению со значением для внутреннего радиуса, поскольку расположение в локтевом канале увеличивает внешний радиус.



Математическая модель измерения подвижности нерва при изменении положения в суставе
Mathematical model for measuring nerve mobility with a change in position in the joint

симальном отделе предплечья от лучевой артерии под плечелучевой мышцей, кроме лучевой возвратной ветви (определили в 50 %), отходят еще от 7 до 13 ветвей небольшого диаметра (не более 0,3 мм), которые снабжают кровью окружающие мышцы и кожу над ними. Большая часть из них проходит над фасциальными влагалищами, покрывающими медиальный край плечелучевой мышцы и латеральный край лучевого сгибателя кисти, образуя артериальные фасциальные сети, использование последних возможно для реваскуляризации. В средней трети предплечья определили 5–8 кожных ветвей диаметром 0,1–0,3 мм, которые в пределах лучевой борозды прободают собственную и поверхностную фасции, направляясь в подкожную клетчатку к лучевому и локтевому краю предплечья; ни одного крупного магистрального сосуда, снабжающего кровью этот отдел кожи предплечья, не имеется. В 19 % случаев мы определили ветку, на основе которой возможно формирование лоскута с автономным кровотоком для проведения реваскуляризации. Это категория лоскутов «0» типа аксиальности [8].

В дистальной трети предплечья от лучевой артерии определили 5–10 ветвей, снабжающих кровью окружающие ткани. В 16 % случаев мы определили две ветки, на основе которых возможно формирование лоскута с автономным кровотоком для проведения реваскуляризации, а также во всех случаях – ветку к области тенара (r. carpeus palmaris a. radialis), позволяющую сформировать фасциальный аутоотрансплантат [5, 7].

При исследовании локтевой артерии выявили 6–12 ветвей, пригодных для формирования фасциальных аутоотрансплантатов. Для проксимальной трети предплечья – это a. recurrens ulnaris, a. mediana (определена в 3 % случаев), r. carpeus a. ulnaris, r. carpeus dorsalis a. ulnaris (восходя-

щая ветвь) [9]. Длина сосудистой ножки данных видов аутоотрансплантатов составила $5 \pm 1,8$ см, фасциальные размеры лоскутов – $(1,22 \pm 0,55) \times (5,5 \pm 1,56)$ см, площадь около 6,6 см².

Таким образом, преимущественным для реваскуляризации в области предплечья является применение лоскутов с «0» типом аксиальности, а также лоскутов с постоянной сосудистой анатомией r. carpeus a. ulnaris, r. carpeus dorsalis a. ulnaris, r. carpeus palmaris a. radialis.

Основной аспект проведения реваскуляризации в области кисти – использование лоскутов для реваскуляризации определено зональностью, площадью, и обязательным условием является использование данных об объеме кровотока, а именно бережное отношение к доминирующему кровотоку пальцев кисти [10].

Заключение

Обобщая все вышеперечисленное, следует сделать вывод о значительной изменчивости сосудистой анатомии применительно к реваскуляризации и необходимости знания всех возможных вариантов (табл. 2).

Таким образом, знание анатомо-топографических особенностей периферических нервов, их кровоснабжения и подвижности необходимо для сохранения механизмов их скольжения, а также возможности проведения направленной реваскуляризации зоны поврежденного нерва различными вариантами аутоотрансплантатов с автономным кровотоком.

Список литературы / References

1. Ma Y., Gao H., Wang H., Cao X. Engineering topography: effects on nerve cell behaviors and appli-

Таблица 2. Варианты использования лоскутов с автономным кровотоком при реваскуляризации зоны повреждения

Table 2. Variants of using flaps with autonomous blood flow for revascularization of the damaged area

Зона реваскуляризации нервов	Применяемые лоскуты с автономным кровотоком
Область плеча	Лоскуты бассейна a. collateralis radial posterior, a. collateralis ulnaris superior, a. collateralis ulnaris inferior, cutaneous posterior brachial artery
Область плеча при сочетанной травме	A. thoracica lateralis, a. thoracodorsalis
Область локтевого сустава	A. recurrens ulnaris (r. anterior et posterior), a. recurrens interossea, rete articulare cubiti
Область предплечья	Лоскуты «0» типа аксиальности, r. carpeus a. ulnaris, r. carpeus dorsalis a. ulnaris, r. carpeus palmaris a. radialis.
Область кисти	A. digitales palmares propriae, a. metacarpeae dorsales, лоскуты из червеобразной мышцы

cations in peripheral nerve repair. *J. Mater. Chem. B.* 2021;9(32):6310–6325. doi: 10.1039/d1tb00782c

2. Gesslbauer B., Hruby L.A., Roche A.D., Farina D., Blumer R., Aszmann O.C. Axonal components of nerves innervating the human arm. *Ann. Neurol.* 2017;82(3):396–408. doi: 10.1002/ana.25018

3. Mao R., Wei Z., Li W., Zhu X., Du D., Xu W. Analysis of influencing factors of repair effect after peripheral nerve injury. *Comput. Math. Methods Med.* 2021;2021:8294267. doi: 10.1155/2021/8294267

4. Афанасьев Л.М. Хирургическая тактика в лечении больных с открытыми сочетанными повреждениями верхних конечностей и их последствиями: автореф. дис... докт. мед. наук. Ленинск-Кузнецкий, 1999.

Afanasiev L.M. Surgical tactics in the treatment of patients with open combined injuries of the upper limb and their consequences: abstract of thesis... doct. med. sciences. Leninsk-Kuznetsky, 1999. [In Russian].

5. Tuturov A.O. The role of peripheral nerve surgery in a tissue reinnervation. *Chin. Neurosurg. J.* 2019;5:5. doi: 10.1186/s41016-019-0151-1

6. Wang M.L., Rivlin M., Graham J.G., Beredjiklian P.K. Peripheral nerve injury, scarring, and recovery. *Connect. Tissue Res.* 2019;60(1):3–9. doi: 10.1080/03008207.2018.1489381

7. Zochodne D.W. Local blood flow in peripheral nerves and their ganglia: Resurrecting key ideas around its measurement and significance. *Muscle Nerve.* 2018;57(6):884–895. doi: 10.1002/mus.26031

8. Zhao B., Ma J., Ma X. Advance of vascularization of tissue engineered peripheral nerve. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2019;33(8):1029–1032. [In Chinese]. doi: 10.7507/1002-1892.201902032

9. Muangsant P., Shipley R.J., Phillips J.B. Vascularization strategies for peripheral nerve tissue engineering. *Anat. Rec. (Hoboken).* 2018;301(10):1657–1667. doi: 10.1002/ar.23919

10. Козлов А.В. Лечение больных с дефектами мягких тканей пальцев и кисти: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Кемерово, 2000.

Kozlov A.V. Treatment of patients with soft tissue defects of the fingers and hand: abstract of thesis. ... cand. med. sciences. Kemerovo, 2000. [In Russian].

Сведения об авторах:

Андрей Викторович Козлов, д.м.н., проф., e-mail: microhand@mail.ru

Полина Анатольевна Федорова, ORCID: 0000-0002-0458-7625, e-mail: FPolina19@yandex.ru

Анастасия Сергеевна Анашкина, ORCID: 0000-0002-3502-3419, e-mail: a.anashkina@g.nsu.ru

Айнур Сафар-кызы Сафарова, ORCID: 0000-0003-0574-487X, e-mail: avicenna.info@mcclinics.ru

Денис Александрович Ким, к.м.н., ORCID: 0000-0002-5296-9767, e-mail: avicenna.info@mcclinics.ru

Татьяна Николаевна Козлова, e-mail: avicenna.info@mcclinics.ru

Information about the authors:

Andrey V. Kozlov, doctor of medical sciences, professor, e-mail: microhand@mail.ru

Polina A. Fedorova, ORCID: 0000-0002-0458-7625, e-mail: FPolina19@yandex.ru

Anastasia S. Anashkina, ORCID: 0000-0002-3502-3419, e-mail: a.anashkina@g.nsu.ru

Ainur S. Safarova, ORCID: 0000-0003-0574-487X, e-mail: avicenna.info@mcclinics.ru

Denis A. Kim, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0002-5296-9767, e-mail: avicenna.info@mcclinics.ru

Tatyana N. Kozlova, e-mail: avicenna.info@mcclinics.ru

Поступила в редакцию 25.05.2022

После доработки 27.09.2022

Принята к публикации 25.10.2022

Received 25.05.2022

Revision received 27.09.2022

Accepted 25.10.2022