Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко
2024, №5, с. 87–92
https://doi.org/10.17116/neiro20248805187

Burdenko's Journal of Neurosurgery
2024, No. 5, pp. 87–92
https://doi.org/10.17116/neiro20248805187

Комбинированное применение биоматериалов и реваскуляризации при аутопластике локтевого нерва

© А.Г. ФЕДЯКОВ[1, 2], О.Н. ДРЕВАЛЬ[2], А.В. ГОРОЖАНИН[1, 2], Д.Н. ГРЕКОВ[1], Л.А. СИДНЕВА[2], З.Х. ПЛИЕВА[2], М.А. РАЗИН[1, 2], Г.Н. ЧАПАНДЗЕ[2]

[1]ГБУЗ города Москвы «Городская клиническая больница им. С.П. Боткина Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия;
[2]ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

Резюме

Хирургическое лечение повреждений периферических нервов эффективно лишь в 50% случаев. Это прежде всего обусловлено значительной протяженностью диастаза между фрагментами поврежденного нерва, при котором приходится выполнять аутопластику. Недостатками этой методики являются формирование рубцовой ткани, возможный некроз аутотрансплантата, несоответствие диаметров нервов донора и реципиента. С целью преодоления перечисленных недостатков и повышения эффективности хирургического вмешательства в настоящем исследовании представлен клинический случай успешного проведения многопучковой аутопластики локтевого нерва с применением отечественных биодеградируемых биоматериалов «СфероГель» и «ЭластоПОБ» и реваскуляризации аутотрансплантата соединительнотканным лоскутом на сосудистой ножке. В раннем послеоперационном периоде наблюдался стойкий регресс локального болевого синдрома. Эффективность оперативного вмешательства была подтверждена ультразвуковым исследованием: данных за наличие невромы в зоне операции нет, в месте сшивания отмечается регенерация нервных пучков. Отмечена положительная динамика по результатам оценки неврологического статуса, опросников: визуальной аналоговой шкале боли, диагностическому опроснику нейропатической боли (DN4), опроснику нарушения движений плеча, предплечья и кисти (DASH).

Ключевые слова: *повреждения периферических нервов, аутопластика, биоматериалы, регенерация нерва, реваскуляризация трансплантата.*

Информация об авторах:
Федяков А.Г. — https://orcid.org/0000-0002-8807-3874
Древаль О.Н. — https://orcid.org/0000-0002-8944-9837
Горожанин А.В. — https://orcid.org/0000-0002-3593-7034
Греков Д.Н. — https://orcid.org/0000-0001-8391-1210
Сиднева Л.А. — https://orcid.org/0000-0002-9809-525X
Плиева З.Х. — https://orcid.org/0000-0003-1297-1616
Разин М.А. — https://orcid.org/0000-0002-4408-8943
Чапандзе Г.Н. — https://orcid.org/0000-0002-5994-6349
Автор, ответственный за переписку: Сиднева Л.А. — e-mail: larisa.sidneva@inbox.ru

Как цитировать:
Федяков А.Г., Древаль О.Н., Горожанин А.В., Греков Д.Н., Сиднева Л.А., Плиева З.Х., Разин М.А., Чапандзе Г.Н. Комбинированное применение биоматериалов и реваскуляризации при аутопластике локтевого нерва. *Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко*. 2024;88(5):87–92. https://doi.org/10.17116/neiro20248805187

Combined use of biomaterials and revascularisation in autoplasty of ulnar nerve

© A.G. FEDYAKOV[1, 2], O.N. DREVAL[2], A.V. GOROZHANIN[1, 2], D.N. GREKOV[1], L.A. SIDNEVA[2], Z.KH. PLIEVA[2], M.A. RAZIN[1, 2], G.N. CHAPANDZE[2]

[1]Botkin City Clinical Hospital, Moscow, Russia;
[2]Russian Medical Academy for Continuous Professional Education, Moscow, Russia

Abstract

Surgical treatment of peripheral nerve injuries is effective in only 50% of cases. This is primarily due to the significant extent of the diastasis between the fragments of the damaged nerve, in which autoplasty has to be performed. The drawbacks of this technique are the formation of scar tissue, possible necrotisation of the autograft, mismatch of the donor and recipient nerve diameters. In order to overcome these drawbacks and improve the efficiency of surgical intervention, the study presents a clinical case of successful multifascicular ulnar nerve autoplasty with the use of domestic biodegradable biomaterials SpheroGel and ElastoPOB, revascularization of the autograft with a connective tissue flap on a vascular pedicle. A persistent regression of local pain syndrome

was observed in the early postoperative period. The effectiveness of the performed surgical intervention was confirmed by ultrasound examination: there was no evidence of neuroma in the area of the operation, regeneration of nerve bundles was noted at the site of stitching. Positive dynamics was observed in the results of VAS, DN4, DASH questionnaires.

Keywords: *peripheral nerve damage, autoplasty, biomaterials, nerve regeneration, graft revascularization.*

Information about the authors:
Fedyakov A.G. — https://orcid.org/0000-0002-8807-3874
Dreval O.N. — https://orcid.org/0000-0002-8944-9837
Gorozhanin A.V. — https://orcid.org/0000-0002-3593-7034
Grekov D.N. — https://orcid.org/0000-0001-8391-1210
Sidneva L.A. — https://orcid.org/0000-0002-9809-525X
Plieva Z.Kh. — https://orcid.org/0000-0003-1297-1616
Razin M.A. — https://orcid.org/0000-0002-4408-8943
Chapandze G.N. — https://orcid.org/0000-0002-5994-6349
Corresponding author: Sidneva L.A. — e-mail: larisa.sidneva@inbox.ru

To cite this article:
Fedyakov AG, Dreval ON, Gorozhanin AV, Grekov DN, Sidneva LA, Plieva ZKh, Razin MA, Chapandze GN. Combined use of biomaterials and revascularisation in autoplasty of ulnar nerve. *Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2024;88(5):87–92. (In Russ.).
https://doi.org/10.17116/neiro20248805186

Введение

Травмы периферических нервов конечностей приводят к значительному снижению качества жизни и инвалидности преимущественно молодых, ранее здоровых людей трудоспособного возраста [1]. У мужчин частота повреждений периферических нервов значительно выше, чем у женщин, соотношение мужчин и женщин составляет примерно 5:1 [2].

По данным K. Bergmeister и соавт. (2020), у большинства (93%) пациентов с травмами верхних конечностей изолированно повреждаются отдельные нервы, из которых 66% — срединный, 24% — локтевой и 10% — лучевой. При сочетанных повреждениях нервов чаще встречаются травмы срединного и локтевого нервов (94%). Наиболее часто травмируется только одна рука, при этом в 60% случаев — левая, травма правой руки составляет 40% [1]. M. Karsy и соавт. (2019) сообщают, что частота повреждения нервов при травмах верхних конечностей составляет 43,8 на 1 млн человек в год. Средний возраст пациентов 38,1±0,05 года, 74,3% пациентов — мужчины [3].

Затраты на одного пациента с повреждениями периферических нервов составляют 47 004 ±185 долларов США со средним увеличением на 4623 доллара США в год и совокупным годовым темпом роста 9,59% [3]. По сравнению с другими частыми травмами рук, такими как, например, перелом дистального отдела лучевой кости, затраты на травмы нервов либо сопоставимы, либо выше [4].

Повреждения периферических нервов могут быть результатом прямой травмы мягких тканей или последствием переломов костей [5]. Наиболее часто травмы нервов верхних конечностей возникают в результате мотоциклетных и автомобильных аварий (59,4%) [6, 7]. Другой частой причиной являются ножевые ранения, порезы стеклом и другие подобные травмы мягких тканей рук [8—10]. Кроме того, отмечено, что локтевой нерв подвергается высокому риску травматизации при хирургических вмешательствах по поводу переломов дистального отдела плечевой кости, а также может повреждаться в результате формирования послеоперационных рубцово-спаечных изменений [11, 12]. По данным литературы, частота послеоперационной нейропатии локтевого нерва колеблется от 0 до 51%, составляя в среднем 13% [13, 14].

Повреждения локтевого нерва значительно ограничивают повседневную и профессиональную деятельность человека [15]. Многие пациенты с тяжелыми травмами локтевого нерва вынуждены менять профессию, а некоторым приходится бороться с постоянными бытовыми ограничениями, что значительно снижает качество жизни. Это связано с выраженным нарушением двигательной функции кисти в результате одновременного поражения мышц гипотенара, червеобразных, межкостных мышц, мышцы, приводящей большой палец, и глубокой головки короткого сгибателя большого пальца [16]. Нарушение функции указанных мышц кисти приводит к формированию контрактуры по типу «когтистой лапы». Кроме того, повреждения локтевого нерва сопровождаются гипестезией, анестезией мизинца и ульнарной поверхности безымянного пальца. Прогноз функционального восстановления при травме локтевого нерва, независимо от уровня повреждения, обычно менее благоприятен по сравнению с таковым при травме срединного или лучевого нервов [16, 17].

Наиболее тяжелым видом повреждения нерва является его полное анатомическое разобщение (V степень по классификации Sunderland 1951 г.), что соответствует нейротмезису по классификации Seddon (1943 г.). В зависимости от величины диастаза между

проксимальным и дистальным концами поврежденного нерва такое повреждение разделяют на три группы: менее 1 см, до 5 см и более 5 см [18]. В случае диастаза между концами нерва менее 1 см оптимальным вмешательством является сшивание нерва (прямая нейрорафия). Такое вмешательство приводит к хорошему функциональному результату, что делает его «золотым стандартом» восстановления целостности нерва [19, 20]. В случаях, когда диастаз между нервами превышает 1 см, сближение концов нерва приводит к их ишемии, формированию концевых невром и отсутствию функционального восстановления. Показано, что растяжение периферического нерва более чем на 10% от его длины в состоянии покоя снижает кровоток на 50% [21]. Таким образом, аутотрансплантация нерва является операцией выбора при диастазе до 5 см. Альтернативным вариантом является применение искусственных нервных кондуитов (нервных проводников, искусственных нервных графтов), то есть изделий, предназначенных для направленного роста аксонов, способствующих регенерации поврежденного нерва, которые имплантируются в организм, однако в настоящее время отсутствуют изделия, разрешенные для применения в клинической практике [22, 23]. По данным ряда авторов, рассматривается применение искусственных нервных проводников при диастазе менее 3 см [24, 25]. В случае протяженного диастаза (более 5 см) показано применение васкуляризированных нервных аутотрансплантатов [26], а в случаях недоступности проксимальной культи альтернативными вариантами считаются перенос нерва и нейрорафия «конец в бок» [5, 18, 27]. По данным литературы, в случае неудачной первичной нейрорафии для восстановления целостности нерва при повторном вмешательстве требуется аутопластика с длиной трансплантата в среднем 4 см [27]. Помимо величины диастаза для выбора хирургической тактики при травме локтевого нерва важное значение имеет уровень его повреждения. S. Ghoraba и соавт. (2019) предложили алгоритм выбора тактики хирургических вмешательств при полном анатомическом повреждении локтевого нерва в зависимости от анатомической локализации травмы [28].

По данным литературы, примерно у 3—5% всех пациентов с травматическими или ятрогенными повреждениями периферических нервов развиваются концевые невромы, сопровождающиеся выраженным болевым синдромом [29]. Перед проведением прямой нейрорафии или аутопластики поврежденного нерва обязательным является иссечение невромы и рубцовой ткани до уровня, пока не будут обнаружены организованные нервные пучки. Выявление невромы проксимального конца нерва, оценка ее размеров, определение длины предполагаемого диастаза — важный фактор предоперационного планирования.

Цель исследования — продемонстрировать эффективность комбинированного применения биодеградируемых материалов и реваскуляризации аутотрансплантата на примере клинического случая хирургического лечения посттравматической нейропатии левого локтевого нерва на уровне нижней трети предплечья после несостоятельной первичной нейрорафии.

Клинический случай

Пациент *В.*, 48 лет, поступил в нейрохирургическое отделение с жалобами на выраженное нарушение активных движений IV—V пальцев, нарушение мелкой моторики, чувство онемения в пальцах левой кисти, выраженную локальную болезненность проксимальнее послеоперационного рубца на предплечье. Выраженность болевого синдрома по визуальной аналоговой шкале боли (ВАШ) составила 9 баллов, результаты оценки по шкале нейропатической боли (DN4) — 8 баллов, оценки функциональных нарушений руки, плеча и кисти по опроснику нарушения движений плеча, предплечья и кисти (DASH) — 75 баллов, по госпитальной шкале тревоги и депрессии (HADS) — 2 балла и 1 балл соответственно.

Анамнез. Пациент получил травму левого предплечья при неосторожном обращении с циркулярной пилой. В первые сутки после травмы была выполнена нейрорафия локтевого и срединного нервов на уровне нижней трети предплечья. В послеоперационном периоде отмечалось частичное восстановление моторики I—III пальцев левой кисти, но сохранялся выраженный парез IV—V пальцев с формированием контрактуры по типу «когтистой лапы» **(рис. 1)**.

По результатам ультразвукового исследования (УЗИ) левого локтевого нерва отмечались признаки



Рис. 1. **Вид кисти и предоперационная разметка. Контрактура по типу «когтистой лапы».**
Отмечены проекция локтевого нерва, гороховидная кость.

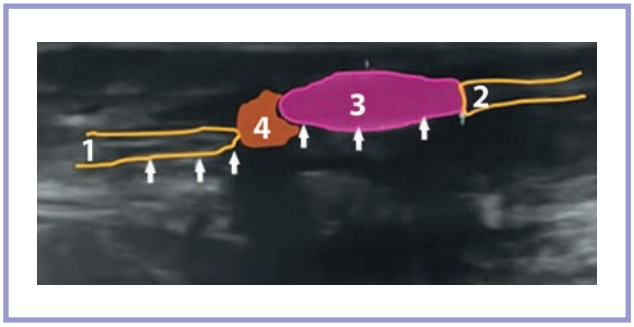


Рис. 2. **Ультразвуковое исследование левого локтевого нерва через месяц после первичной нейрорафии.**
1 — дистальная культя поврежденного локтевого нерва; 2 — проксимальная культя; 3 — концевая неврома; 4 — рубцовая ткань в области нейрорафии.

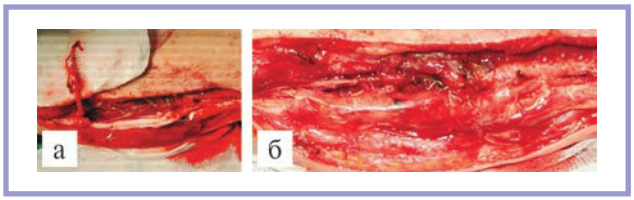


Рис. 3. **Интраоперационные фото: сформированный анастомоз между многопучковым аутотрансплантатом, проксимальным и дистальным отделом поврежденного локтевого нерва и артерия, выделенная из окружающих мягких тканей (а); конечный вид анастомоза с реваскуляризацией, окруженного гелевой композицией «СфероГель» и мембраной «ЭластоПОБ» (б).**

формирования внутриствольной невромы в области нейрорафии, эхогенность нерва снижена, дифференцировка нервных волокон отсутствует, признаков регенерации нет. Вокруг нерва визуализируется рыхлая рубцовая ткань протяженностью около 3—4 см **(рис. 2)**. По данным электронейромиографии — признаки полного аксонального поражения левого локтевого нерва на уровне предплечья.

Учитывая жалобы, данные анамнеза, неврологического осмотра, инструментальных методов обследования, было принято решение о проведении нейрохирургического вмешательства. Выполнена операция: ревизия, декомпрессия, невролиз, выделение в канале Гийона, микрохирургическая нейрорафия левого локтевого нерва с использованием многопучкового аутотрансплантата левого икроножного нерва, биодеградируемых материалов; реваскуляризация аутотрансплантата соединительнотканным лоскутом на сосудистой ножке **(рис. 3)**. Необходимость применения аутотрансплантата обусловлена значительным диастазом (5 см) между проксимальным и дистальным концами локтевого нерва после иссечения внутриствольной невромы. В качестве мембраны, отделяющей анастомоз от окружающих тканей, а также внешнего каркаса использовался материал «ЭластоПОБ». Для поддержания гомеостаза, улучшения репаративных процессов в качестве биомиметика, а также с целью профилактики образования рубцов в области анастомоза применялся биоматериал «СфероГель». В ходе работы использовался микрохирургический инструментарий, операционный микроскоп, нерассасывающийся шовный хирургический материал с монофиламентной нитью Prolene 6—0 (45 см). В качестве аутотрансплантата применялся икроножный нерв протяженностью 15 см, выделенный на голени малоинвазивным методом с использованием сосудистой петли Vollmar.

Схема выполненного вмешательства представлена на **рис. 4**.

Результаты

В раннем послеоперационном периоде наблюдался стойкий регресс локального болевого синдрома, сохраняющийся в течение всего периода наблюдения.

Согласно результатам УЗИ через 3 мес, данных за наличие невромы в зоне операции нет (адекватный анастомоз), признаков компрессии, деформации лок-

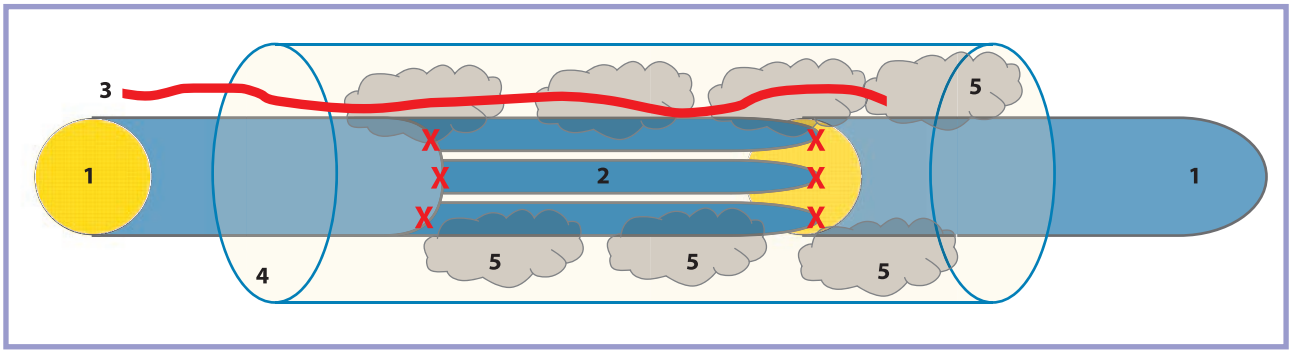


Рис. 4. **Комбинированное применение биодеградируемых материалов, многопучковой пластики и васкуляризированного лоскута (схема).**
1 — локтевой нерв; 2 — многопучковый аутотрансплантат; 3 — питающая артерия; 4 — мембрана «ЭластоПОБ»; 5 — гелевая композиция «СфероГель».

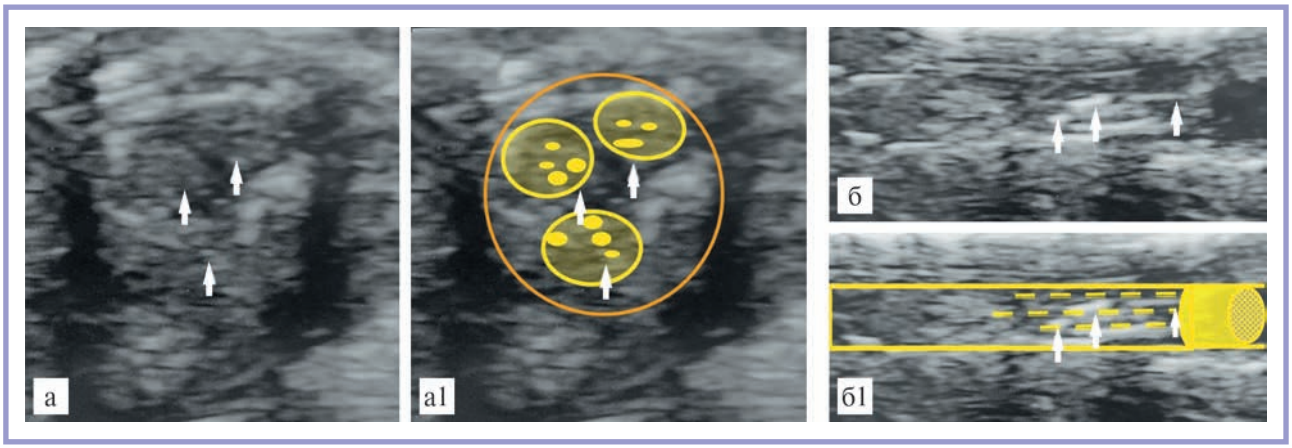


Рис. 5. **Ультразвуковой контроль многопучковой пластики с применением биодеградируемых материалов и реваскуляризации трансплантата.**
Поперечный срез (а) и схема (а1): визуализируются все три ствола аутотрансплантата с регенерирующими нервными пучками в их толще. Продольный срез (б) и схема (б1): определяются регенерирующие нервные пучки вдоль аутотрансплантата.

тевого нерва не выявлено, в месте сшивания аутоневральных трансплантатов отмечается регенерация нервных пучков **(рис. 5)**.

При контрольном осмотре пациента через 3 мес отмечалось нарастание силы в IV—V пальцах левой кисти. Наблюдалась положительная динамика по результатам опросников: ВАШ — 0 баллов, DN4 — 1 балл, DASH — 32 балла, HADS — 2 балла и 1 балл. Сам пациент высказывал высокую удовлетворенность оперативным вмешательством.

Заключение

Аутопластика является «золотым стандартом» восстановления целостности нервного ствола в случае протяженного дефекта периферического нерва. Достигнутая при комбинированном использовании биодеградируемых материалов и реваскуляризации аутотрансплантата состоятельность анастомоза, отсутствие формирования концевых невром, признаки регенерации нервных пучков свидетельствуют об эффективности методики. Применение биодеградируемых материалов способствует поддержанию гомеостаза, улучшению репаративных процессов, снижает патологическое влияние рубцово-спаечного процесса в области вмешательства, препятствуя адгезии рубцовой ткани в области прорастания нервных пучков. Реваскуляризация соединительнотканным лоскутом уменьшает риск развития ишемии трансплантата. Забор аутотрансплантата предпочтительно выполнять малоинвазивными методами.

Участие авторов:
Концепция и дизайн исследования — Федяков А.Г., Горожанин А.В., Древаль О.Н., Греков Д.Н.
Сбор и обработка материала — Федяков А.Г., Сиднева Л.А., Разин М.А., Плиева З.Х.
Статистический анализ данных — Федяков А.Г., Разин М.А.
Написание текста — Федяков А.Г., Сиднева Л.А., Разин М.А., Плиева З.Х., Чапандзе Г.Н.
Редактирование — Горожанин А.В., Древаль О.Н.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Bergmeister KD, Grobe-Hartlage L, Daeschler SC, Rhodius P, Böcker A, Beyersdorff M, Kern AO, Kneser U, Harhaus L. Acute and long-term costs of 268 peripheral nerve injuries in the upper extremity. *PLoS One*. 2020;6;15(4):e0229530. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229530
2. Noble J, Munro CA, Prasad VS, Midha R. Analysis of upper and lower extremity peripheral nerve injuries in a population of patients with multiple injuries. *Journal of Trauma*. 1998;45(1):116-122. https://doi.org/10.1097/00005373-199807000-00025
3. Karsy M, Watkins R, Jensen MR, Guan J, Brock AA, Mahan MA. Trends and Cost Analysis of Upper Extremity Nerve Injury Using the National (Nationwide) Inpatient Sample. *World Neurosurgery*. 2019;123:e488-e500. PMID: 30502477. https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.11.192
4. Lögters T, Schädel-Höpfner M, Windolf J. Zehn Jahre palmare winkelstabile Plattenosteosynthese zur Behandlung der distalen Radiusfraktur: wer profitiert? *Obere Extremität*. 2012;7(4):200-208. (In German). https://doi.org/10.1007/s11678-012-0193-x

5. Байтингер В.Ф., Байтингер А.В. Шов нерва: от шва бок-в-конец к шву бок-в-бок. *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии*. 2013;56(3):17-22.
Baitinger VF, Baitinger AV. Nerve suture: from side-to-end to side-to-side. *Issues of Reconstructive and Plastic Surgery*. 2013;56(3):17-22. (In Russ.).
6. Awasthi B, Raina SK, Kumar N, Sharma V, Kalia S, Thakur L. Pattern of extremity fractures among patients with musculoskeletal injuries: a hospital based study from North India. *Journal of Medical Society*. 2016;30:35-37. https://doi.org/10.4103/0972-4958.175847
7. Mansuri FA, Al-Zalabani AH, Zalat MM, Qabshawi RI. Road safety and road traffic accidents in Saudi Arabia. A systematic review of existing evidence. *Saudi Medical Journal*. 2015;36(4):418-424. https://doi.org/10.15537/smj.2015.4.10003
8. Castillo-Galván ML, Martínez-Ruiz FM, de la Garza-Castro O, Elizondo-Omaña RE, Guzmán-López S. Estudio de la lesión nerviosa periférica en pacientes atendidos por traumatismos [Study of peripheral nerve injury in trauma patients]. *Gaceta Medica de Mexico*. 2014;150(6):527-532. (In Spanish).
9. Rosberg HE, Carlsson KS, Cederlund RI, Ramel E, Dahlin LB. Costs and outcome for serious hand and arm injuries during the first year after trauma — a prospective study. *BMC Public Health*. 2013;13:501. https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-501
10. Saadat S, Eslami V, Rahimi-Movaghar V. The incidence of peripheral nerve injury in trauma patients in Iran. *Turkish Journal of Trauma & Emergency Surgery*. 2011;17(6):539-544. https://doi.org/10.5505/tjtes.2011.75735
11. Svernlöv B, Nestorson J, Adolfsson L. Subjective ulnar nerve dysfunction commonly following open reduction, internal fixation (ORIF) of distal humeral fractures and in situ decompression of the ulnar nerve. *Strategies in Trauma and Limb Reconstruction*. 2017;12:19-25. https://doi.org/10.1007/s11751-016-0271-5
12. Vazquez O, Rutgers M, Ring DC, Walsh M, Egol KA. Fate of the ulnar nerve after operative fixation of distal humerus fractures. *Journal of Orthopaedic Trauma*. 2010;24:395-399. https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e3181e3e273
13. Shin R, Ring D. The ulnar nerve in elbow trauma. *Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. 2007;89:1108-1116. https://doi.org/10.2106/JBJS.F.00594
14. Wiggers JK, Brouwer KM, Helmerhorst GT, Ring D. Predictors of diagnosis of ulnar neuropathy after surgically treated distal humerus fractures. *Journal of Hand Surgery (American Volume)*. 2012;37:1168-1172. https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2012.02.045
15. Aberg M, Ljungberg C, Edin E, Jenmalm P, Millqvist H, Nordh E, Wiberg M. Considerations in evaluating new treatment alternatives following peripheral nerve injuries: a prospective clinical study of methods used to investigate sensory, motor and functional recovery. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*. 2007;60:103-113. https://doi.org/10.1016/j.bjps.2006.04.019
16. Woo A, Bakri K, Moran SL. Management of Ulnar Nerve Injuries. *The Journal of Hand Surgery*. 2015;40(1):173-181. https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2014.04.038
17. Jaquet JB, Shreuders T, Kalmijn S. Median and ulnar nerve injuries: prognosis and predictors for clinical outcome. *Journal of Reconstructive Microsurgery*. 2006;22:27.
18. Singh VK, Haq A, Tiwari M, Saxena AK. Approach to management of nerve gaps in peripheral nerve injuries. *Injury*. 2022;53(4):1308-1318. https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.01.031
19. Millesi H. Forty-two years of peripheral nerve surgery. *Microsurgery*. 1993;14:228-233. https://doi.org/10.1002/micr.1920140403
20. Terzis J, Faibisoff B, Williams B. The nerve gap: suture under tension vs. graft. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1975;56:166-170.
21. Lundborg G, Rydevik B. Effects of stretching the tibial nerve of the rabbit. A preliminary study of the intraneural circulation and the barrier function of the perineurium. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 1973;55:390-401.
22. Мирошникова П.К., Люндуп А.В., Бацаленко Н.П., Крашенинников М.Е., Занг Ю., Фельдман Н.Б., Береговых В.В. Перспективные нервные кондуиты для стимуляции регенерации поврежденных периферических нервов. *Вестник РАМН*. 2018;73(6):388-400.
Miroshnikova PK, Lyundup AV, Batsalenko NP, Krasheninnikov ME, Zhang Y, Feldman NB, Beregovykh VV. Perspective Nerve Conduits for Stimulation of Regeneration of Damaged Peripheral Nerves. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2018;73(6):388-400. (In Russ.). https://doi.org/10.15690/vramn1063
23. Федяков А.Г., Немец Е.А., Древаль О.Н., Горожанин А.В., Сиднева Л.А., Плиева З.Х., Разин М.А., Перова Н.В., Севастьянов В.И. Искусственный нервный проводник для направленного роста периферических нервов (кадаверное исследование). *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2023;25(2):99-106.
Fedyakov AG, Nemets EA, Dreval ON, Gorozhanin AV, Sidneva LA, Plieva ZH, Razin MA, Perova NV, Sevastianov VI. Artificial nerve conduit for guiding peripheral nerve growth (cadaveric study). *Russian Journal of Transplantology and Artificial Organs*. 2023;25(2):99-106. (In Russ.). https://doi.org/10.15825/1995-1191-2023-2-99-106
24. Kostopoulos E, Konofaos P, Frazer M, Terzis JK. Tubulization techniques in brachial plexus surgery in an animal model for long-nerve defects (40 mm): a pilot study. *Annals of Plastic Surgery*. 2010;64:614-621. https://doi.org/10.1097/SAP.0b013e3181da4369
25. Pabari A, Lloyd-Hughes H, Seifalian AM, Mosahebi A. Nerve conduits for peripheral nerve surgery. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2014;133:1420-1430. https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000000226
26. Broeren BO, Duraku LS, Hundepool CA, Walbeehm ET, Zuidam JM, Hooijmans CR, Jong TD. Nerve recovery from treatment with a vascularized nerve graft compared to an autologous non-vascularized nerve graft in animal models: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2021;16(12):e0252250. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252250
27. Ништ А.Ю., Фомин Н.Ф., Чирский В.С. Соединение нервов по типу «конец-в-бок»: ожидание и действительность. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2018:20(1):203-208.
Nisht AY, Fomin NF, Chirsky VS. End-to-side neurorrhaphy: expectations and reality. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2018:20(1):203-208. (In Russ.). https://doi.org/10.17816/brmma12313
28. Ghoraba SM, Mahmoud WH, Elsergany MA, Ayad HM. Ulnar Nerve Injuries (Sunderland Grade V): A Simplified Classification System and Treatment Algorithm. *Plastic Reconstructive Surgery — Global Open*. 2019;7(11):2474. https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000002474
29. Vernadakis AJ, Koch H, Mackinnon SE. Management of neuromas. *Clinics in Plastic Surgery*. 2003;30:247-268. https://doi.org/10.1016/s0094-1298(02)00104-9

Поступила/Received 06.05.2024
Принята к печати/Accepted 21.06.2024