

DOI: <https://doi.org/10.17816/psaic1517>

Научная статья



Результаты лечения детей с посттравматическими нейропатиями периферических нервов верхней конечности

А.А. Смирнов^{1,2}, В.В. Рыбченко^{2,3}, А.В. Александров², П.В. Гончарук²,
Л.Я. Идрис¹, Р.А. Хагуров², А.Н. Евдокимов², Н.А. Князева¹

¹ Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия;

² Детская городская клиническая больница им. Н.Ф. Филатова, Москва, Россия;

³ Научно-исследовательский институт клинической хирургии, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия

Аннотация

Актуальность. Повреждения периферических нервов — это тяжелые виды травм с потенциальными пожизненными нарушениями, что особенно важно для педиатрической популяции. Поскольку текущей литературы по педиатрическим поражениям нервов мало, мы проанализировали в этой работе результаты лечения детей с повреждениями периферических нервов верхних конечностей на базе отделения микрохирургии Детской городской клинической больницы им. Н.Ф. Филатова.

Цель — оценить результаты лечения детей с повреждениями периферических нервов верхней конечности и установить зависимость восстановления функции верхней конечности от срока, прошедшего с момента травмы до операции.

Материалы и методы. В отделении микрохирургии за период с 2017 по 2021 г. было пролечено 114 пациентов с травмами периферических нервов верхней конечности. Из историй болезни и на катанестическом приеме были извлечены следующие данные — возраст, пол, уровень повреждения, тип оперативного вмешательства, срок с момента травмы до оперативного вмешательства и послеоперационное восстановление функций периферических нервов. Для оценки чувствительной функции нервов использовали тест дискриминационной двухточечной чувствительности (тест Вебера) и шкалу Григоровича, выполняли электромиографическое и ультразвуковое исследования. Для оценки субъективных ощущений был использован опросник QuickDash. Цифровые данные подвергнуты статистической обработке.

Результаты. Проведен анализ результатов лечения детей с разными сроками с момента травмы до оперативного вмешательства, различий в группах до 14 дней и более 14 дней не обнаружено ($p > 0,05$). При анализе данных больные были распределены на 4 группы в зависимости от срока с момента травмы и до оперативного вмешательства: 1) до 3 мес.; 2) от 3 до 6 мес.; 3) от 6 до 12 мес.; 4) более 12 мес. Различия в результатах не зафиксированы ($p > 0,05$). Если оценивать влияние возраста на восстановление функции периферических нервов, то нами были получены следующие результаты — в возрасте до 11 лет отмечается лучшее восстановление чувствительности, нежели в возрасте более 11 лет ($p < 0,05$).

Заключение. Учитывая, что в нашем исследовании не получено статистически значимых различий в результатах лечения детей в различные сроки с момента травмы до оперативного вмешательства, можно сделать вывод, что срок более 12 мес. с момента травмы у детей не исключает достижения удовлетворительных результатов реконструктивных оперативных вмешательств на периферических нервах.

Ключевые слова: повреждения нервов; верхние конечности; лучевой нерв; срединный нерв; локтевой нерв; нейропатии; сроки до операции; результаты; дети.

Как цитировать:

Смирнов А.А., Рыбченко В.В., Александров А.В., Гончарук П.В., Идрис Л.Я., Хагуров Р.А., Евдокимов А.Н., Князева Н.А. Результаты лечения детей с посттравматическими нейропатиями периферических нервов верхней конечности // Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии. 2023. Т. 13, № 2. С. 147–160. DOI: <https://doi.org/10.17816/psaic1517>

Рукопись получена: 11.04.2023

Рукопись одобрена: 20.05.2023

Опубликована: 28.06.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/psaic1517>

Research Article

Results of treatment for the posttraumatic neuropathies of peripheral nerves of the upper limb in children

Alexander A. Smirnov^{1,2}, Vsevolod V. Rybchenok^{2,3}, Alexander V. Alexandrov², Pavel V. Goncharuk², Lamiya Ya. Idris¹, Ruslan A. Khagurov², Alexander N. Evdokimov², Nataliya A. Knyazeva¹

¹ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia;

² Filatov Children's City Clinical Hospital, Moscow, Russia;

³ Research Institute of Clinical Surgery, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Abstract

BACKGROUND: Peripheral nerve injuries are severe types of injury with potential life-long impairment, which is crucial in the pediatric population. Considering the lack of literature on pediatric nerve lesions, we analyzed the results of treatment for children with injuries of the peripheral nerves of the upper extremities in the Department of Microsurgery of the N.F. Filatov Children's City Clinical Hospital.

AIM: This study aimed to evaluate the results of treatment for children with injuries of the peripheral nerves of the upper limb and to establish the relationship between the recovery of the function of the upper limb and the time elapsed from the moment of injury to surgery.

MATERIALS AND METHODS: From 2017 to 2021, 114 patients with injuries of the peripheral nerves of the upper limb were treated in the Department of Microsurgery. The following data were extracted from the case histories and at the follow-up appointment: age, gender, level of damage, type of surgical intervention, period from the moment of injury to surgical intervention, and postoperative recovery of peripheral nerve functions. For the assessment of the sensory function of the nerves, a discriminatory two-point sensitivity test (Weber Test) and the Grigorovich scale were used. Electromyographic and ultrasound studies were also performed. Subjective feelings were assessed using the QuickDash questionnaire. The digital data were subjected to statistical processing.

RESULTS: Analysis of the results of treatment for children with different periods from the moment of injury to surgery found no differences among the groups up to 14 days and more than 14 days ($p > 0.05$). For further data analysis, the patients were divided into four groups depending on the period from the moment of injury to surgery: 1) up to 3 months, 2) from 3 to 6 months, 3) from 6 to 12 months, and 4) more than 12 months. No differences were found in the results ($p > 0.05$). According to the evaluation of the effect of age on the recovery of peripheral nerve function, better recovery of sensitivity was observed at the age of up to 11 years compared with at the age of more than 11 years ($p < 0.05$).

CONCLUSIONS: Considering the lack of statistically significant differences in the results of treatment for children at various times from the moment of injury to surgery, we can conclude that a period of more than 12 months from the moment of injury to surgery does not influence the achievement of satisfactory results of reconstructive surgical interventions for peripheral nerves in children.

Keywords: nerve injuries; upper limbs; radial nerve; median nerve; ulnar nerve; neuropathies; time before surgery; results; children.

To cite this article:

Smirnov AA, Rybchenok VV, Alexandrov AV, Goncharuk PV, Idris LYa, Khagurov RA, Evdokimov AN, Knyazeva NA. Results of treatment for the posttraumatic neuropathies of peripheral nerves of the upper limb in children. *Russian Journal of Pediatric Surgery, Anesthesia and Intensive Care*. 2023;13(2):147–160. DOI: <https://doi.org/10.17816/psaic1517>

Received: 11.04.2023

Accepted: 20.05.2023

Published: 28.06.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/psaic1517>

上肢创伤后周围神经病患儿的治療结果

Alexander A. Smirnov^{1,2}, Vsevolod V. Rybchenok^{2,3}, Alexander V. Alexandrov², Pavel V. Goncharuk², Lamiya Ya. Idris¹, Ruslan A. Khagurov², Alexander N. Evdokimov², Nataliya A. Knyazeva¹

¹ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia;

² Filatov Children's City Clinical Hospital, Moscow, Russia;

³ Research Institute of Clinical Surgery, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

简评

现实性。周围神经损伤是严重的损伤类型，可导致终生损伤。治疗这些损伤对儿童很重要。目前关于小儿神经损伤的文献很少。在本文中，作者分析了上肢周围神经损伤儿童的治疗结果。治疗是在 N.F. Filatov 市立儿童临床医院显微外科进行的。

该研究的目的是评估患有上肢周围神经损伤儿童的治疗结果。测定上肢功能的恢复与从受伤到手术的期间之间的依赖关系。

材料和方法。在2017年至2021年期间，114名上肢周围神经损伤患者在显微外科接受治疗。从病历和医生诊断中选取了以下数据：年龄、性别、损伤程度、手术干预类型、从受伤到手术干预的期间。作者收集了术后周围神经功能恢复的信息。采用了鉴别性两点敏感试验（韦伯试验）和 Grigorovich 量表来评估神经敏感功能，并进行了肌电图检查和超声波检查。使用了 QuickDash 问卷来评估主观感觉。对数字数据进行了统计学处理。

结果。对这些儿童的治疗结果进行了分析。从儿童受伤到接受手术的期间都不同。14天以内和14天以上的小组之间没有发现差异 ($p > 0.05$)。为了进一步分析数据，根据从受伤到手术的期间，儿童被分为4组：1) 3个月以内；2) 3至6个月；3) 6至12个月；4) 12个月以上。结果差异未发现 ($p > 0.05$)。研究显示，周围神经功能恢复受到年龄的影响。11岁以内的儿童比11岁以上的显示出更好的敏感度恢复 ($p < 0.05$)。

结论。在从受伤到手术干预的不同时间的儿童治疗结果中，该研究没发现有统计学意义的差异。可以得出结论，儿童受伤后超过12个月的时间并不排除周围神经修复手术的满意结果。

关键词：神经损伤；上肢；桡神经；正中神经；尺神经；神经病变；术前时限；结果；儿童。

引用本文：

Smirnov AA, Rybchenok VV, Alexandrov AV, Goncharuk PV, Idris LYa, Khagurov RA, Evdokimov AN, Knyazeva NA. 上肢创伤后周围神经病患儿的治療结果. *Russian Journal of Pediatric Surgery, Anesthesia and Intensive Care*. 2023;13(2):147–160. DOI: <https://doi.org/10.17816/psaic1517>

收到: 11.04.2023

接受: 20.05.2023

发布日期: 28.06.2023

АКТУАЛЬНОСТЬ

Повреждение периферических нервов (ППН) как сопутствующее поражение у пациентов с травмой верхней конечности до сих пор остается малоизученным, несмотря на его неудовлетворительные долгосрочные последствия. По результатам анализа Регистра травм Центральной Европы Т. Nuckhage и соавт. [1] установили, что из 50 тысяч пациентов с тяжелыми травмами 3,3 % имели повреждение периферических нервов верхних конечностей. Частота встречаемости ППН при травмах верхней конечности, по данным литературы, составляет 16,9 на 100 000 человек в США [2], 13,9 — в Швеции [3], 7,9 — в Южной Корее [4].

Повреждения периферических нервов в большей степени наблюдаются у взрослых пациентов (старше 18 лет), так как их образ жизни и условия труда более травмоопасны нежели ежедневная активность у детей. По данным М. Amap и соавт. [5] распространенность ППН у педиатрических пациентов составила 5,7 % от числа взрослых с аналогичными травмами [5]. Наиболее часто повреждаются пальцевые нервы, затем локтевой, срединный и лучевой нервы по мере убывания. Основными причинами ППН являются воздействия колюще-режущими предметами, переломы костей и ятрогенные повреждения, которые в последнее время увеличивают свою долю в структуре этого вида травм [5–12].

Повреждения нервов бывают полные и частичные, локализованные и протяженные по длине. В настоящее время общепризнана классификация повреждений нервов по Seddon – Sunderland, однако для клинической практики эта классификация неудобна, так как достоверно идентифицировать, какие структуры нервного волокна повреждены, можно только при гистологическом исследовании. Все механизмы повреждения нервов можно разделить на 4 группы: 1) нарушение целостности нерва; 2) растяжение нерва; 3) компрессия нерва; 4) контузия нерва [13]. Диагностика ППН производится с помощью: клинического осмотра, ультразвукового исследования (УЗИ), электронейромиографии (ЭНМГ).

В настоящее время публикации на тему посттравматических нейропатий конечностей у детей крайне немногочисленны. Большинство из них принадлежит зарубежным авторам. В нашем исследовании отражены результаты лечения детей с посттравматическими нейропатиями периферических нервов, проведены их оценка и анализ.

Цель — оценить результаты лечения детей с повреждениями периферических нервов верхней конечности и установить зависимость восстановления функции верхней конечности от срока, прошедшего с момента травмы до операции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В отделении микрохирургии Детской городской клинической больницы им. Н.Ф. Филатова г. Москвы за период

с 2017 по 2021 г. было пролечено 114 детей с повреждениями периферических нервов верхней конечности (срединный, локтевой и лучевой нервы). Из них 85 мальчиков и 29 девочек. Проведен ретроспективный анализ результатов их лечения. Из медицинской документации были взяты следующие данные: возраст, пол, срок с момента травмы до оперативного лечения, уровень повреждения, тип оперативного вмешательства, причина и механизм повреждения, послеоперационное восстановление двигательной и чувствительной функции нервов.

Критерии включения:

- возраст 5–17 лет;
- период наблюдения с 2017 по 2021 г.;
- диагноз — «повреждение локтевого, срединного или лучевого нервов».

Критерии исключения:

- сочетанные травмы сосудов, так как это могло в дальнейшем повлиять на восстановление нервов;
- пальцевые и ладонные нервы.

Пациенты изначально были разделены на 2 группы: операция по восстановлению нерва в остром периоде — до 14 дней, и в отсроченном периоде — более 14 дней.

Для более детальной оценки результатов лечения детей в разные сроки пациенты были разделены еще на 4 группы с разными сроками от момента травмы до оперативного лечения. Такое разделение было обусловлено сроками и прогнозом лечения, которые описывает ряд авторов у взрослых. Так, при операции на нерве в срок до 3 мес. с момента повреждения можно было ожидать благоприятный исход более чем у 75 % пациентов, в срок от 3 до 6 мес. благоприятный исход возможен лишь у 50 %, а в срок от 6 до 12 мес. только у 25 %, и если срок с момента травмы до операции превышает 12 мес., то вероятность восстановления функции нерва ничтожно мала [14–17]. Следовательно, чтобы иметь возможность сравнивать и были аналогично сформированы 4 группы: до 3 мес., от 3 до 6 мес., от 6 до 12 мес. и более 12 мес. с момента травмы соответственно.

В литературе встречаются данные о восстановлении функции нервов в зависимости от возраста, и пороговой точкой является возраст 11 лет, после которого функциональный исход восстановления нерва менее благоприятен [5, 9, 12]. В связи с этим вся выборка разделена на 2 группы в зависимости от возраста: младше 11 лет и 11 лет и старше.

Известна следующая зависимость: чем больше расстояние от уровня повреждения до дистально расположенных мышц, тем больше времени понадобится аксонам для регенерации и, тем самым, функциональный исход будет менее благоприятным. В соответствии с этим пациенты были разделены на 4 группы — повреждение нерва на уровне кисти, на уровне от запястья до средней трети предплечья, на уровне от средней трети предплечья до локтевого сгиба и на уровне выше локтевого сгиба.

МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ

Клинический осмотр

Клиническая оценка моторных функций нервов при их повреждении заключалась в определении следующих симптомокомплексов. Для лучевого нерва — отсутствие разгибания кисти и пальцев и отсутствие отведения 1-го пальца; для локтевого нерва — отсутствие сгибания 4-го, 5-го пальцев и отведение/приведение 2–5-го пальцев; для срединного нерва — отсутствие сгибания 1–3-го пальцев и отсутствие противопоставления 1-го пальца. Чувствительность определялась в соответствии с областью иннервации кисти (рис 1).

Для оценки чувствительной функции нервов использовали тест дискриминационной двухточечной чувствительности (тест Вебера) и шкалу Григоровича [18] (рис. 2, табл. 1) Полное восстановление чувствительности определялось как восстановление нормальных значений двухточечной дискриминации (до 5 мм) при отсутствии парестезии, которое было равно по шкале Григоровича S4–S5.

Для оценки двигательной функции исследовали объем активных движений конечности по шкале Григоровича [18] (табл. 2). Полное восстановление двигательной функции определялось как полный объем активных движений в каждом суставе без снижения силы и оценивалось по шкале Григоровича M4–M5.

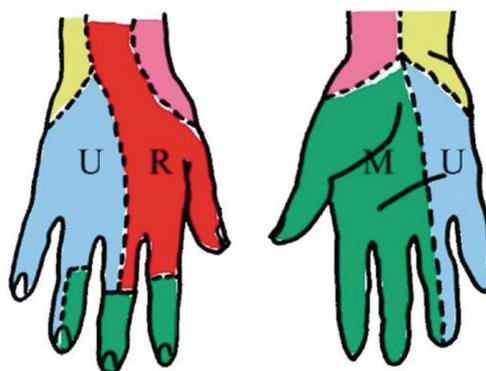


Рис. 1. Схема чувствительной иннервации кисти. Объяснения в тексте: U — локтевой нерв; M — срединный нерв; R — лучевой нерв
Fig. 1. Scheme of sensitive innervation of the hand: U — ulnar nerve; M — median nerve; R — radial nerve

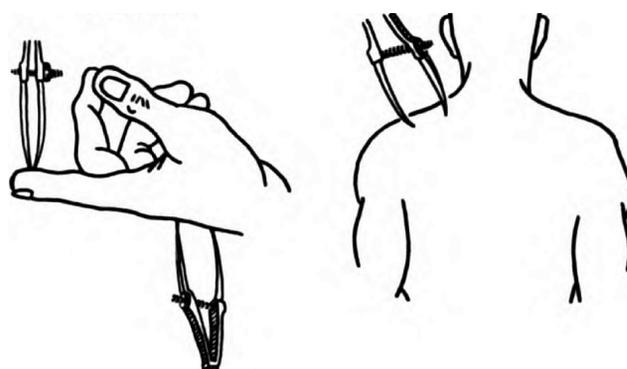


Рис. 2. Определение дискриминационной двухточечной пробы (тест Вебера)
Fig. 2. Definition of a discriminatory two-point test (Weber test)

Таблица 1. Описание шкалы чувствительности (S)

Table 1. Sensitivity scale (S)

Балл оценки чувствительности	Описание ощущений пациента при исследовании
S0	Анестезия
S1	Грубое снижение чувствительности (ощущение уколов как незначительных прикосновений)
S2	Гипестезия с гиперпатией (извращение чувствительности, неадекватная реакция на стимул)
S3	Выраженное снижение чувствительности (ощущение уколов, как тупых прикосновений), уменьшение гиперпатии
S4	Незначительная гипестезия (ощущение уколов, однако хуже, чем на участках с сохранной иннервацией)
S5	Нормальная чувствительность

Таблица 2. Описание шкалы двигательной функции (M)

Table 2. Motor function scale (M)

Балл оценки двигательной функции	Описание выполняемых движений
M0	Отсутствие сокращений мышц
M1	Едва заметные сокращения мышц
M2	Отчетливые сокращения мышц без движений в суставах
M3	Слабые движения в суставах с преодолением гравитации (полезная степень восстановления)
M4	Полный объем движений в суставе с преодолением небольшого сопротивления
M5	Полный объем движений с преодолением сопротивления, которое аналогично здоровой симметричной мышце

Электромиографическое исследование

Фундаментально важное значение в современной диагностике повреждений нервов играет игольчатая электромиография (ЭМГ). Данное исследование позволяет получить объективные данные о нарушениях двигательной функции нервов и за счет оценки степени денервации различных мышц позволяет судить об уровне и давности повреждения нерва. В отличие от ЭНМГ клинично-неврологическое исследование требует хорошей кооперации пациента, его субъективной оценки чувствительности и демонстрации функции конечности. Однако весомыми недостатками электромиографии являются невозможность определить точное место повреждения и оценить анатомическую структуру ствола нерва и его взаимоотношение с окружающими тканями [19, 20].

Ультразвуковое исследование

Ультразвуковое исследование (УЗИ) — метод, позволяющий компенсировать недостатки ЭМГ. Согласно данным литературы, современные УЗИ-аппараты экспертного класса с высоким разрешением позволяют дифференцировать анатомические структуры размерами менее 1 мм [21]. Тем не менее данный метод является операторозависимым и требует большого опыта и мастерства исследователя, а также нуждается в клинично-диагностическом сопоставлении [22, 23].

Оперативные вмешательства

Пациентам в зависимости от сроков с момента травмы и интраоперационных находок выполняли следующие оперативные вмешательства:

1. Первичный, первично-отсроченный шов и вторичный шов нерва.

Во время операции выполнялась ревизия. Деликатно мобилизовали проксимальную и дистальную культы поврежденного нерва, при необходимости рубцово-измененные концы культей нерва иссекали до здоровых тканей. При отсутствии натяжения под операционным микроскопом выполняли эпинеуральный шов нитью Dafilon, Prolen 8/0-9/0.

2. Невролиз.

Зачастую данную операцию проводили пациентам, у которых в анамнезе были переломы костей верхней конечности, с последующей закрытой или открытой репозицией и металлоостеосинтезом. Ствол нерва аккуратно и деликатно освобождали от рубцовых сращений, а также делали инъекционную пробу — при отсутствии внутривенных рубцов операция завершалась.

3. Аутоневральная пластика.

В тех случаях, когда после иссечения неврокультий нервов образовывался диастаз, не позволяющий сблизить концы нерва без натяжения, выполняли его аутоневральную пластику вставками из кожного икроножного нерва. Забор нерва проводили из доступа в нижней трети голени параллельно ахиллову сухожилию.

Нерв с помощью стриппера выделяли и отсекали на уровне верхней трети голени. Вставки формировали с учетом сопоставления пучков, а количество определялось толщиной нервного ствола. Вставки фиксировали нитью Prolen/Dafilon 8/0-9/0.

Послеоперационный период

Всем пациентам в послеоперационном периоде выполнялась иммобилизация конечности в гипсовом лонгете на минимальный срок 2 нед. при изолированном повреждении в физиологическом положении или сгибании соответствующего сустава при шве нерва и разгибания близлежащего сустава при аутоневральной пластике. Проводилась антибактериальная терапия и физиотерапия. При наличии сопутствующих повреждений срок иммобилизации мог удлиняться. После выписки пациентам рекомендовалось посещение реабилитационного центра для разработки движений, электро- и магнитоимпульсионной стимуляции, а также наблюдение невролога и нейротропная лекарственная терапия.

Пациенты наблюдались в сроки 6–12 и более 18 мес. с выполнением ЭМГ- и УЗИ-контроля и заполнением опросников.

Опросник QuickDash

Для оценки субъективных ощущений был использован опросник QuickDash, которым могут пользоваться самостоятельно пациенты в возрасте 8–9 лет, пациенты младше этого возраста заполняли опросник при помощи родителей.

Статистическая обработка

Статистический анализ проводили с использованием программы StatTech v. 2.8.8 (ООО «Статтех», Россия). Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро – Уилка или критерия Колмогорова – Смирнова. Учитывая отсутствие нормального распределения, количественные данные описывали с помощью медианы (*Me*) и нижнего и верхнего квартилей [Q_1 ; Q_3]. Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполняли с помощью *U*-критерия Манна – Уитни. Для сравнения трех и более групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, использовали критерий Краскела – Уоллиса, апостериорные сравнения — с помощью критерия Данна с поправкой Холма. Сравнение процентных долей при анализе четырехпольных таблиц сопряженности выполняли с помощью критерия хи-квадрат Пирсона (при значениях ожидаемого явления более 10).

Для каждого пациента была создана индивидуальная карточка для удобства сбора информации и дальнейшей ее цифровизации и обработки. Общие данные выборки представлены в табл. 3.

Таблица 3. Сводные данные пациентов, $n = 114$ Table 3. Summary data of patients, $n = 114$

Показатель	Me	Q ₁ ; Q ₃	min	max
Время с момента операции, месяцы	37	19; 60	5	102
Время с момента травмы, месяцы	0	0; 4	0	18
Возраст, лет	12	9; 15	5	17
Опросник QuickDash после операции, балл	3	3; 8	0	28
ДДТП после операции, мм	3	3; 4	2	6
S после операции, балл	5	4; 5	3	5
M после операции, балл	5	4; 5	3	5
Время достижения удовлетворительных результатов, месяцы	12	9; 13	6	15

Примечание. ДДТП — дискриминационная двухточечная проба, S — шкала чувствительности, M — шкала двигательной функции.
Note. DDTP — discriminatory two-point test, S — sensitivity scale, M — motor function scale, Age, years

РЕЗУЛЬТАТЫ

Группы до 14 дней и более 14 дней

Пациенты были разделены на 2 группы, в зависимости от времени, прошедшего с момента травмы до оперативного вмешательства: 1-я группа — оперативное вмешательство до 14-го дня (выполнение первичных швов); 2-я группа — более 14 дней (выполнение вторичных швов, невролиз, аутонервальная пластика). В 1-й группе было 54 пациента, во 2-й группе — 60. Пациенты сравнивались по полу и возрасту — статистически значимых различий не обнаружено ($p < 0,05$), группы сопоставимы, используемый метод: хи-квадрат Пирсона.

Проведен анализ результатов лечения детей, различий в группах до 14 дней и более 14 дней не обнаружено ($p > 0,05$), используемый метод: U -критерий Манна – Уитни (рис. 3).

Группы до 3 мес. с момента травмы, от 3 до 6 мес., от 6 до 12 мес. и более 12 мес.

Для определения наибольшего срока от момента травмы до оперативного вмешательства, при котором возможно достижение удовлетворительного результата лечения, пациенты были поделены на 4 группы: до 3 мес., от 3 до 6 мес., от 6 до 12 мес. и более 12 мес. Такие сроки были выбраны исходя из работ, посвященных повреждениям периферических нервов у взрослых: в эти сроки достигаются различные результаты лечения. В табл. 4 представлены сводные данные. При этом видно, что отсутствуют различия в результатах лечения детей с разными сроками. Статистически значимых различий выявлено не было ($p > 0,05$), используемый метод: критерий Краскала – Уоллиса (рис. 4).

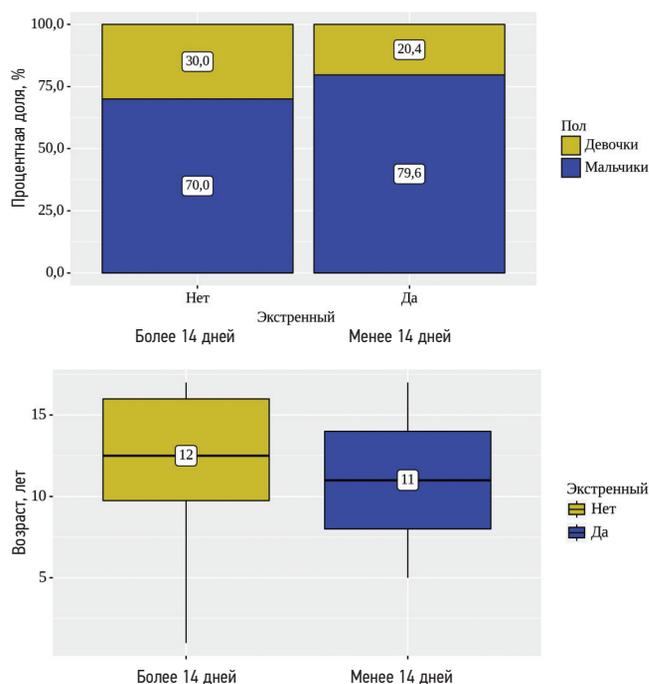


Рис. 3. Соотношение по полу и возрасту пациентов 1-й и 2-й групп
Fig. 3. Gender and age ratio of groups 1 and 2

Группы в зависимости от уровня повреждения

Важным моментом являются ожидаемые худшие результаты лечения проксимальных повреждений периферических нервов. Были сформированы 4 группы пациентов в зависимости от уровня повреждения нерва: на уровне кисти, до средней трети предплечья, от средней трети предплечья и до локтевого сгиба, выше локтевого сгиба. У детей в нашем исследовании статистически значимых различий в зависимости от уровня повреждения также не выявлено, используемый метод: критерий Краскала – Уоллиса (рис. 5).

Таблица 4. Сравнение результатов лечения детей в различные сроки с момента травмы до оперативного лечения

Table 4. Comparison of the results of treatment for children at various times from the moment of injury to surgical treatment

Показатели	Категории	Me	Q ₁ ; Q ₃	n	p
Опросник QuickDash после операции, балл	0–3 мес.	3	3; 6	84	0,287
	4–6 мес.	6	3; 8	14	
	7–11 мес.	1	0; 5	6	
	Более 12 мес.	4	3; 6	10	
ДДТП после операции, мм	0–3 мес.	3	3; 4	84	0,454
	4–6 мес.	3	3; 4	14	
	7–11 мес.	4	3; 4	6	
	Более 12 мес.	4	3; 4	10	
S после операции, балл	0–3 мес.	5	4; 5	84	0,514
	4–6 мес.	5	4; 5	14	
	7–11 мес.	5	4; 5	6	
	Более 12 мес.	4	4; 5	10	
M после операции, балл	0–3 мес.	5	4; 5	84	0,283
	4–6 мес.	5	5; 5	14	
	7–11 мес.	5	5; 5	6	
	Более 12 мес.	4	4; 5	10	

Примечание. ДДТП — дискриминационная двухточечная проба, S — шкала чувствительности, M — шкала двигательной функции.
Note. DDTP — discriminatory two-point test, S — sensitivity scale, M — motor function scale.

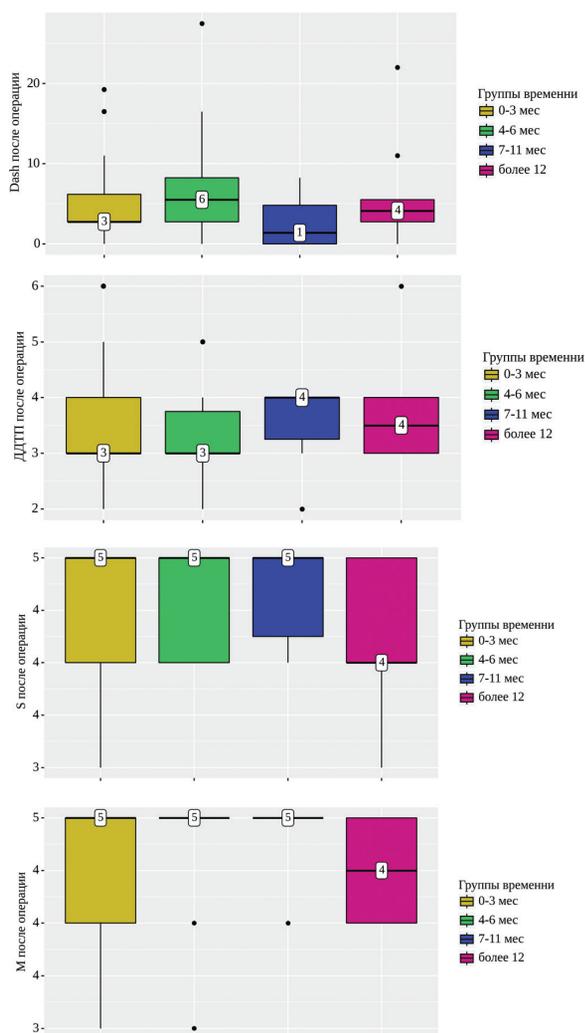


Рис. 4. Сравнение результатов лечения детей в различные сроки с момента травмы до оперативного лечения
Fig. 4. Comparison of the results of treatment for children at different times from the moment of injury to surgical treatment

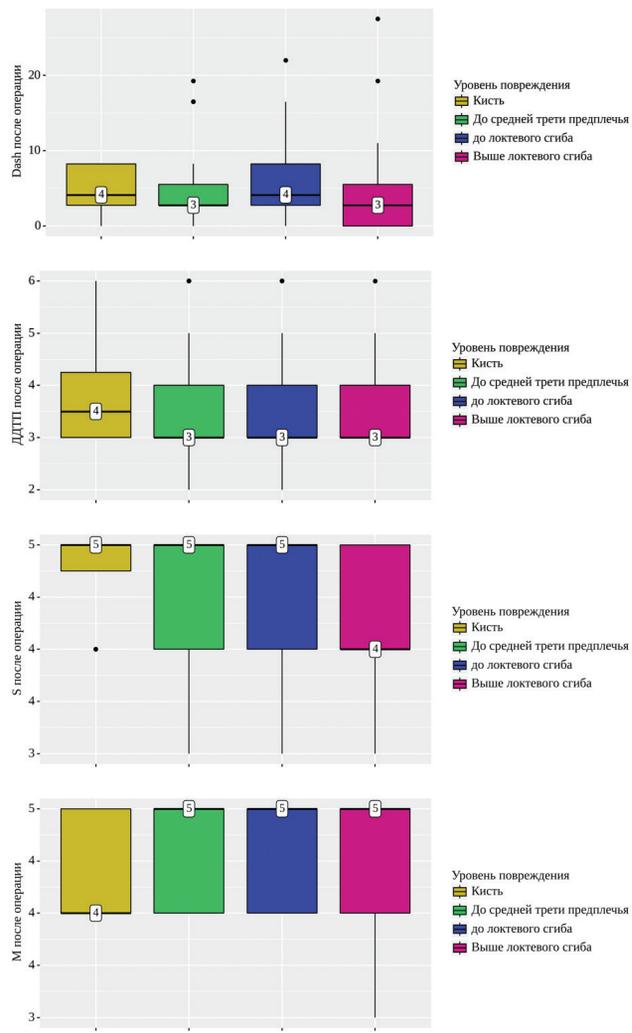


Рис. 5. Сравнение результатов лечения детей с разными уровнями травмы
Fig. 5. Comparison of the results of treatment for children with different levels of trauma

Таблица 5. Сравнение результатов лечения детей в зависимости от возраста

Table 5. Comparison of the results of treatment for children depending on age

Показатели	Категории	Me	Q ₁ ; Q ₃	n	p
Dash после операции, балл	менее 11 лет	3	3; 6	54	0,139
	более 11 лет	5	3; 8	60	
ДДТП после операции, мм	менее 11 лет	3	3; 4	54	0,420
	более 11 лет	4	3; 4	60	
S после операции, балл	менее 11 лет	5	4; 5	54	0,008*
	более 11 лет	4	4; 5	60	
M после операции, балл	менее 11 лет	5	4; 5	54	0,609
	более 11 лет	5	4; 5	60	

Примечание. ДДТП — дискриминационная двухточечная проба, S — шкала чувствительности, M — шкала двигательной функции, * $p < 0,05$.

Note. DDTP — discriminatory two-point test, S — sensitivity scale, M — motor function scale, * $p < 0,05$.

Оценка в зависимости от возраста пациента

По данным литературы, у детей в возрасте младше 11 лет результаты лечения оказываются лучше, чем у детей более старшего возраста. В нашем исследовании значимых различий в результатах лечения получено не было, за исключением чувствительности. В возрасте до 11 лет результаты восстановления чувствительности были лучше, используемый метод: *U*-критерий Манна – Уитни (табл. 5, рис. 6).

ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что результаты лечения детей с повреждениями периферических нервов значительно отличаются от тех, которые наблюдаются у взрослых. Это может быть связано с несколькими обстоятельствами: 1) более высокий регенераторный потенциал у детей, так как скорость роста аксона составляет 2–4 мм в сутки у детей, в то время как у взрослых ~1 мм; 2) меньшая длина конечностей, а значит меньшее расстояние, которое необходимо преодолеть аксону; 3) пластичность центральной нервной системы, которая имеет способность перестраиваться к новой анатомии после травмы и реконструктивных операций. Этот факт еще предстоит доказать в исследованиях регенерации нервных волокон у детей. Остается открытым вопрос о возможности стимуляции и улучшения регенерации нервных волокон с помощью различных факторов роста и воздействия физических факторов.

Рассмотрим некоторые клеточные механизмы обеспечения регенерации периферических нервов. Ключевую роль в поддержании функции нервов играют не нейроны, а вспомогательные клетки. Одними из таких являются шванновские клетки, которые покрывают аксоны миелиновой оболочкой и обеспечивают питание нерва путем выделения ряда веществ, таких как, например, фактор роста нервов (nerve growth factor — NGF) [24].

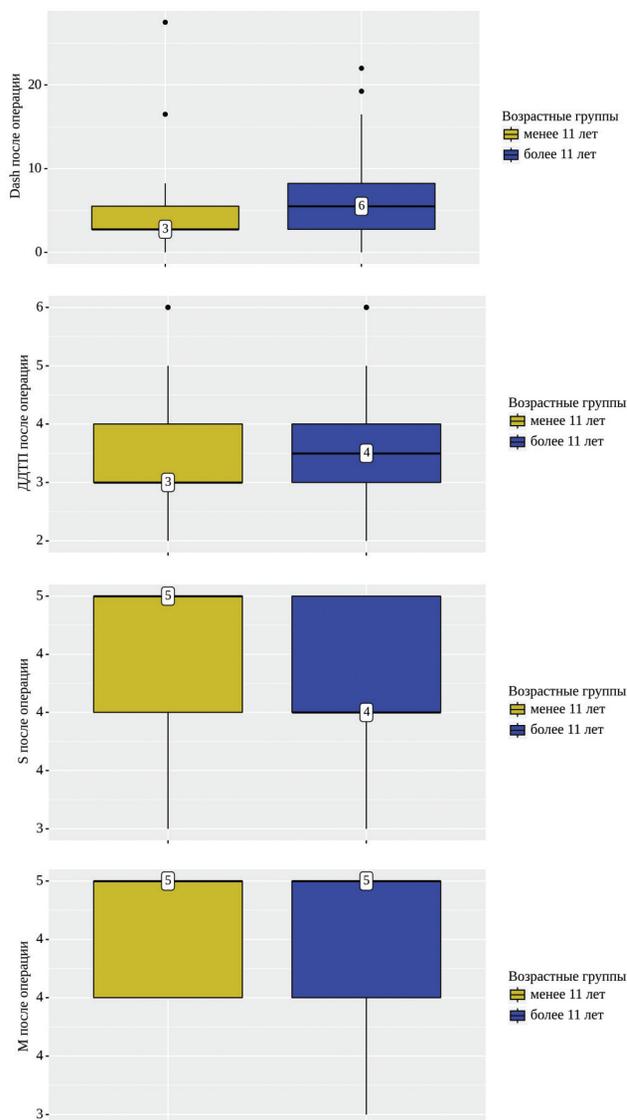


Рис. 6. Сравнение результатов лечения детей в зависимости от возраста

Fig. 6. Comparison of the results of treatment for children depending on age

В случае демиелинизации, как например, при длительной хронической компрессии нерва, шванновские клетки повышают свой метаболизм для обеспечения ремиелинизации [25]. Функциональный исход восстановления поврежденного нерва зависит от медленного процесса регенерации и геометрически корректного расположения и сопоставления аксонов [26].

Чем более дистально локализовано повреждение нерва, тем более вероятно быстрое и полное его восстановление. Проксимальные повреждения нервов вблизи тел нейронов в рогах спинного мозга часто запускают их запрограммированную гибель. Длина диастаза между проксимальным и дистальным концами нерва также обратно пропорциональна вероятности успешного его восстановления [27]. На пути роста аксонов могут возникать препятствия, в частности, рубцовая ткань и связи между окружающими клетками и межклеточным веществом. В области конуса роста нерва выделяются протеолитические ферменты и активатор плазминогена для освобождения пространства от подобных препятствий [28].

Таким образом, в организме человека предусмотрен ряд адаптивных механизмов регенерации нервов без дополнительных воздействий извне. Однако наша работа посвящена случаям повреждений периферических нервов, требующих восстановления их целостности оперативным путем. В контексте хирургического восстановления структуры нерва существует ряд общепринятых методик. Наиболее распространенная из них — нейрорафия, или шов нерва. Данный метод применим в случае диастаза между концами поврежденного нерва до 5 мм. В случае сшивания нерва при большем диастазе его концов, увеличивается натяжение в области шва, а это, в свою очередь, может привести к осложнениям — несостоятельности шва нерва, а также, при длительной иммобилизации конечности, — к развитию контрактуры [29].

Фибриновый клей — вещество, позволяющее выполнить бесшовное восстановление целостности нерва или, по крайней мере, существенно уменьшить количество эпинеуральных швов [30]. Потенциальные преимущества клеящего вещества заключаются в соединении и адаптации поврежденных концов нерва с минимальной дополнительной травматизацией, менее выраженными воспалительными явлениями и, соответственно, минимальными рубцовыми изменениями в области шва. М. Sameet и соавт. [31] собрали и проанализировали 16 литературных источников для обсуждения различий клинического исхода при использовании фибринового клея и сшивания нерва. В результате было выявлено менее выраженное гранулематозное воспаление в группе пациентов, у которых применялся фибриновый клей. Что касается аксональной регенерации, точности соотношения волокон, скорости восстановления нервов, то они в обеих группах оказались сопоставимыми [31].

Метод пластики периферических нервов с помощью аутоотрансплантатов считается золотым стандартом восстановления их целостности при повреждениях [32].

На протяжении вот уже многих лет пластика периферических нервов при значительном диастазе их концов доказала свою эффективность и обеспечивает наилучшие результаты лечения пациентов [31]. Однако у метода есть недостатки: необходимость дополнительного хирургического вмешательства в донорской зоне с образованием послеоперационного рубца и нарушением чувствительности, а также ограничения количества доступного пластического материала, потенциальная разница морфологических характеристик аутоотрансплантата и реципиентного нерва [33–34].

Альтернативой аутоотрансплантации нервов является аллопластика с помощью трупных тканей [35]. Аллотрансплантаты нервов обеспечивают корректное направление их роста, а также содержат донорские шванновские клетки, которые запускают соответствующие молекулярные механизмы регенерации. В то же время пациенты, которым была выполнена аллотрансплантация, нуждаются в приеме системных иммуносупрессивных препаратов (глюкокортикостероидов) в течение 18 мес. с момента операции. В свою очередь, применение иммуносупрессивных препаратов может способствовать развитию оппортунистических инфекций и даже опухолевого процесса [36, 37]. В настоящее время проводится множество исследований в отношении обработанных аллотрансплантатов, которые лишены недостатков, присущих нативным.

В бесклеточных аллотрансплантатах удалены иммунореактивные шванновские клетки и миелин, но сохранена нативная структура нервного волокна, которая содержит необходимые компоненты внеклеточного матрикса, такие как коллаген, ламинин и факторы роста [38].

За последние несколько лет накопились сведения о применении различных кондуитов из биоматериалов, нерассасывающихся и биodeградируемых синтетических. Нервные кондуиты должны обладать гибкостью и достаточной проницаемостью для обмена веществ между регенератом нерва и окружающими тканями. В контексте этого изучается транспорт следующих веществ: коллагена, полигликолиевой кислоты, полимолочной кислоты, полиэстера, хитозана [39, 40]. В последние десятилетия проводились исследования по приданию нервным кондуитам способности стимулировать регенерацию аксонов в случаях протяженных диастазов нервов. Наиболее широко применяемая модификация — это добавление в просвет кондуита вспомогательных клеток. С помощью клеточного воздействия можно создать благоприятную среду для регенерации периферических нервов и, таким образом, способствовать эффективному замещению протяженных дефектов.

Несмотря на все потенциальные преимущества применения клеточной терапии в клинической практике будущего, существует ряд ограничений. Одно из них — безопасность. Необходимо проведение большего количества исследований по изучению возможных сбоев и соответствующих неврологических нарушений, особенно в результате пересадки стволовых клеток. Другое ограничение — необходимый период подготовки аутологических источников вспомогательных клеток.

Таким образом, общемировой опыт включает широкое разнообразие методов лечения пациентов с посттравматическими нейропатиями периферических нервов. Тем не менее за последние годы революционных открытий не сделано, происходит лишь усовершенствование ранее открытых методик. Часть из них успешно применяется и в нашей практике, что отражено в данном исследовании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными методами диагностики повреждений периферических нервов у детей остаются клинический осмотр, УЗИ и игольчатая ЭМГ, которые позволяют дать объективную оценку уровня, характера и степени повреждения нерва.

У всех детей, включенных в настоящее исследование, были достигнуты удовлетворительные результаты лечения.

Наиболее полное восстановление чувствительной функции наблюдается у детей, оперированных в возрасте младше 11 лет.

При этом различий в результатах у детей с разными сроками от момента травмы до оперативного вмешательства не выявлено. Учитывая описанные данные настоящего исследования, можно заключить, что срок более 12 мес. с момента травмы ребенка не исключает возможности достижения удовлетворительных результатов реконструктивных оперативных вмешательств на периферических нервах.

В нашем исследовании максимальный срок от момента травмы до оперативного вмешательства с достижением удовлетворительного результата составил 15 мес. Несмотря на очевидный прогресс в лечении детей с повреждениями периферических нервов, ряд целей по достижению идеальных результатов остаются недостижимыми. Не до конца решены вопросы о профилактике, организации квалифицированной помощи детям с данной патологией.

В современной науке и практике разрабатываются, изучаются и внедряются новые методы. Данный процесс требует времени. Очевидно, что развитие поднятой в данной статье темы будет предметом последующих исследований.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам отделения микрохирургии — врачам, медицинским сестрам, младшему медицинскому персоналу в лечении и уходе за детьми. Анестезиологической бригаде за обеспечение сбалансированного адекватного пособия по общему обезболиванию.

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Вклад каждого автора: А.А. Смирнов — концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных, написание текста; В.В. Рыбченко, А.В. Александров — концепция и дизайн исследования, финальная правка статьи; П.В. Гончарук, Л.Я. Идрис — анализ полученных данных, написание текста; Р.А. Хагуров, А.Н. Евдокимов, Н.А. Князева — сбор и обработка материалов.

Источник финансирования. Исследование и публикация осуществлены при поддержке научно-исследовательского проекта московского центра инновационных технологий в здравоохранении.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Авторы получили письменное согласие пациентов (их представителей) на обработку и публикацию персональных данных.

ADDITIONAL INFORMATION

Acknowledgments. Employees of the Department of Microsurgery — doctors, nurses, junior medical staff in the treatment and care of children. Anesthesia team for providing a balanced adequate benefit for general anesthesia.

Authors' contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. Contribution of each author: A.A. Smirnov — the concept and design of the study, the analysis of the data obtained, the writing of the text; V.V. Rybchenok, A.V. Alexandrov — concept and design of the study, final revision of the article; P.V. Goncharuk, L.Ya. Idris — analysis of the received data, writing of the text; R.A. Khagurov, A.N. Evdokimov, N.A. Knyazeva — collection and processing of materials.

Funding source. The research and publication were carried out with the support of the research project of the Moscow Center for Innovative Technologies in Healthcare.

Competing interests. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information within the manuscript.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huckhagel T., Nüchtern J., Regelsberger J., Lefering R. Nerve injury in severe trauma with upper extremity involvement: evaluation of 49,382 patients from the TraumaRegister DGU® between 2002 and 2015 // *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2018. Vol. 26, No. 1. ID 76. DOI: 10.1186/s13049-018-0546-6
2. Tapp M., Wenzinger E., Tarabishy S., et al. The Epidemiology of upper extremity nerve injuries and associated cost in the US Emergency Departments // *Ann Plast Surg*. 2019. Vol. 83, No. 6. P. 676–680. DOI: 10.1097/SAP.0000000000002083
3. Asplund M., Nilsson M., Jacobsson A., von Holst H. Incidence of traumatic peripheral nerve injuries and amputations in Sweden between 1998 and 2006 // *Neuroepidemiology*. 2009. Vol. 32, No. 3. P. 217–228. DOI: 10.1159/000197900
4. Kim S.J., Kwon Y.M., Ahn S.M., et al. Epidemiology of upper extremity peripheral nerve injury in South Korea, 2008 to 2018 // *Medicine (Baltimore)*. 2022. Vol. 101, No. 48. ID e31655. DOI: 10.1097/MD.00000000000031655
5. Aman M., Zimmermann K.S., Boecker A.H., et al. Peripheral nerve injuries in children—prevalence, mechanisms and concomitant injuries: a major trauma center's experience // *Eur J Med Res*. 2023. Vol. 28, No. 1. ID 116. DOI: 10.1186/s40001-023-01082-x
6. Eser F., Aktekin L.A., Bodur H., Atan C. Etiological factors of traumatic peripheral nerve injuries // *Neurol India*. 2009. Vol. 57, No. 4. P. 434–437. DOI: 10.4103/0028-3886.55614
7. Valencia J., Leyva F., Gomez-Bajo G.J. Pediatric hand trauma // *Clin Orthop Relat Res*. 2005. Vol. 432. P. 77–86. DOI: 10.1097/01.blo.0000155376.88317.b7
8. Kouyoumdjian J.A., Graça C.R., Ferreira V.F.M. Peripheral nerve injuries: A retrospective survey of 1124 cases // *Neurol India*. 2017. Vol. 65, No. 3. P. 551–555. DOI: 10.4103/neuroindia.NI_987_16
9. Missios S., Bekelis K., Spinner R.J. Traumatic peripheral nerve injuries in children: epidemiology and socioeconomic // *J Neurosurg Pediatr*. 2014. Vol. 14, No. 6. P. 688–694. DOI: 10.3171/2014.8.PEDS14112
10. Nofsinger C.C., Wolfe S.W. Common pediatric hand fractures // *Curr Opin Pediatr*. 2002. Vol. 14, No. 1. P. 42–45. DOI: 10.1097/00008480-200202000-00007
11. Hosalkar H.S., Matzon J.L., Chang B. Nerve palsies related to pediatric upper extremity fractures // *Hand Clin*. 2006. Vol. 22, No. 1. P. 87–98. DOI: 10.1016/j.hcl.2005.12.004
12. Хан М.А., Вахова Е.Л., Александров А.В., и др. Современные технологии медицинской реабилитации детей с посттравматическими нейропатиями верхних конечностей // *Вестник восстановительной медицины*. 2021. Т. 20, № 46. С. 72–81. DOI: 10.38025/2078-1962-2021-20-4-72-81
13. Боголюбовский Ю.А., Файн А.М., Сачков А.В., и др. Ятрогенные повреждения лучевого нерва при остеосинтезе плечевой кости. Профилактика, диагностика и лечение // *Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь»*. 2020. Т. 9, № 1. С. 51–60. DOI: 10.23934/2223-9022-2020-9-1-51-60
14. Barrios C., Amillo S., de Pablos J., Cañadell J. Secondary repair of ulnar nerve injury. 44 cases followed for 2 years // *Acta Orthop Scand*. 1990. Vol. 61, No. 1. P. 46–49. DOI: 10.3109/17453679008993065
15. Carlsen B.T., Bishop A.T., Shin A.Y. Late reconstruction for brachial plexus injury // *Neurosurg Clin N Am*. 2009. Vol. 20, No. 1. P. 51–64. DOI: 10.1016/j.nec.2008.07.021
16. Patterson J.M.M., Russo S.A., El-Haj M., et al. Radial nerve palsy: nerve transfer versus tendon transfer to restore function // *HAND*. 2022. Vol. 17, No. 6. P. 1082–1089. DOI: 10.1177/1558944720988126
17. Langridge B., Griffin M.F., Akhavan M.A., Butler P.E. Long-term outcomes following pediatric peripheral nerve injury repair // *J Hand Microsurg*. 2020. Vol. 12, No. 1. P. 27–31. DOI: 10.1055/s-0039-1692928
18. Григорович К.А. Хирургическое лечение повреждений нервов. Москва: Медицина, 1981. 304 с.
19. *Peripheral nerve entrapments: Clinical diagnosis and management* / ed. by A.M. Trescot. Springer International Publishing, 2016. 887 p.
20. Domkundwar S., Autkar G., Khadilkar S.V., Virarkar M. Ultrasound and EMG-NCV study (electromyography and nerve conduction velocity) correlation in diagnosis of nerve pathologies // *J Ultrasound*. 2017. Vol. 20, No. 2. P. 111–122. DOI: 10.1007/s40477-016-0232-3
21. Liu F., Zhu J., Wei M., et al. Preliminary evaluation of the sural nerve using 22-MHz ultrasound: a new approach for evaluation of diabetic cutaneous neuropathy // *PLoS One*. 2012. Vol. 7, No. 4. ID e32730. DOI: 10.1371/journal.pone.0032730
22. Mota S.J., Silva F.P., Gil-Pereira M., et al. Peripheral nerve ultrasound — anatomy and technique for diagnosis and procedures. 2014. 48 p.
23. Ray W.Z., Mahan M.A., Guo D., et al. Erratum to: an update on addressing important peripheral nerve problems: challenges and potential solutions // *Acta Neurochir (Wien)*. 2017. Vol. 159, No. 9. ID 1775. DOI: 10.1007/s00701-017-3232-y
24. Berde C.B., Strichartz G.R. Local anesthetics / Miller R., Eriksson L., Fleisher L., et al. Miller's anesthesia. 7th edition. Elsevier, 2009. DOI: 10.1016/B978-0-443-06959-8.00030-3
25. Miner J.R., Paris P.M., Yealy D.M. Pain management. Mark Rosen's emergency medicine. 7th edition / ed. by J. Marx, R. Hockberger. Mosby, 2010. DOI: 10.1016/B978-0-323-05472-0.00186-9
26. Ludwin S.K., Maitland M. Long-term remyelination fails to reconstitute normal thickness of central myelin sheaths // *J Neurol Sci*. 1984. Vol. 64, No. 2. P. 193–198. DOI: 10.1016/0022-510x(84)90037-6
27. Udina E., Ceballos D., Gold B.G., Navarro X. FK506 enhances reinnervation by regeneration and by collateral sprouting of peripheral nerve fibers // *Exp Neurol*. 2003. Vol. 183, No. 1. P. 220–231. DOI: 10.1016/S0014-4886(03)00173-0
28. Menorca R.M., Fussell T.S., Elfar J.C. Nerve physiology: mechanisms of injury and recovery // *Hand Clin*. 2013. Vol. 29, No. 3. P. 317–330. DOI: 10.1016/j.hcl.2013.04.002
29. Dahlin L.B. Chapter 1: Nerve injury and repair: from molecule to man. *Peripheral nerve surgery — practical applications in the upper extremity*. In: *Peripheral Nerve Surgery* / ed. by D.J. Slutsky, V.R. Hentz. Churchill Livingstone, 2006. P. 1–22. DOI: 10.1016/B978-0-443-06667-2.50006-X
30. Johnson E.O., Soucacos P.N. Nerve repair: experimental and clinical evaluation of biodegradable artificial nerve guides // *Injury*. 2008. Vol. 39, No. 3. P. S30–S36. DOI: 10.1016/j.injury.2008.05.018
31. Li R., Liu Z., Pan Y., et al. Peripheral nerve injuries treatment: a systematic review // *Cell Biochem Biophys*. 2014. Vol. 68, No. 3. P. 449–454. DOI: 10.1007/s12013-013-9742-1
32. Sameem M., Wood T.J., Bain J.R. A systematic review on the use of fibrin glue for peripheral nerve repair // *Plast Reconstr Surg*. 2011. Vol. 127, No. 6. P. 2381–2390. DOI: 10.1097/PRS.0b013e3182131cf5
33. Jiang X., Lim S.H., Mao H.-Q., Chew S.Y. Current applications and future perspectives of artificial nerve conduits // *Exp Neurol*. 2010. Vol. 223, No. 1. P. 86–101. DOI: 10.1016/j.expneurol.2009.09.009
34. Gu X., Ding F., Yang Y., Liu J. Construction of tissue engineered nerve grafts and their application in peripheral nerve

regeneration // *Prog Neurobiol.* 2011. Vol. 93, No. 2. P. 204–230. DOI: 10.1016/j.pneurobio.2010.11.002

35. Nichols C.M., Brenner M.J., Fox I.K., et al. Effects of motor versus sensory nerve grafts on peripheral nerve regeneration // *Exp Neurol.* 2004. Vol. 190, No. 2. P. 347–355. DOI: 10.1016/j.expneurol.2004.08.003

36. Panseri S., Cunha C., Lowery J., et al. Electrospun micro- and nanofiber tubes for functional nervous regeneration in sciatic nerve transections // *BMC Biotechnol.* 2008. Vol. 8. ID 39. DOI: 10.1186/1472-6750-8-39

37. Muir D. The potentiation of peripheral nerve sheaths in regeneration and repair // *Exp Neurol.* 2010. Vol. 223, No. 1. P. 102–111. DOI: 10.1016/j.expneurol.2009.05.038

REFERENCES

1. Huckhagel T, Nüchtern J, Regelsberger J, Lefering R. Nerve injury in severe trauma with upper extremity involvement: evaluation of 49,382 patients from the TraumaRegister DGU® between 2002 and 2015. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2018;26(1):76. DOI: 10.1186/s13049-018-0546-6

2. Tapp M, Wenzinger E, Tarabishy S, et al. The Epidemiology of upper extremity nerve injuries and associated cost in the US Emergency Departments. *Ann Plast Surg.* 2019;83(6):676–680. DOI: 10.1097/SAP.0000000000002083

3. Asplund M, Nilsson M, Jacobsson A, von Holst H. Incidence of traumatic peripheral nerve injuries and amputations in Sweden between 1998 and 2006. *Neuroepidemiology.* 2009;32(3):217–228. DOI: 10.1159/000197900

4. Kim SJ, Kwon YM, Ahn SM, et al. Epidemiology of upper extremity peripheral nerve injury in South Korea, 2008 to 2018. *Medicine (Baltimore).* 2022;101(48):e31655. DOI: 10.1097/MD.00000000000031655

5. Aman M, Zimmermann KS, Boecker AH, et al. Peripheral nerve injuries in children—prevalence, mechanisms and concomitant injuries: a major trauma center’s experience. *Eur J Med Res.* 2023;28(1):116. DOI: 10.1186/s40001-023-01082-x

6. Eser F, Aktekin LA, Bodur H, Atan C. Etiological factors of traumatic peripheral nerve injuries. *Neurol India.* 2009;57(4):434–437. DOI: 10.4103/0028-3886.55614

7. Valencia J, Leyva F, Gomez-Bajo GJ. Pediatric hand trauma. *Clin Orthop Relat Res.* 2005;432:77–86. DOI: 10.1097/01.blo.0000155376.88317.b7

8. Kouyoumdjian JA, Graça CR, Ferreira VFM. Peripheral nerve injuries: A retrospective survey of 1124 cases. *Neurol India.* 2017;65(3):551–555. DOI: 10.4103/neuroindia.NI_987_16

9. Missios S, Bekelis K, Spinner RJ. Traumatic peripheral nerve injuries in children: epidemiology and socioeconomics. *J Neurosurg Pediatr.* 2014;14(6):688–694. DOI: 10.3171/2014.8.PEDS14112

10. Nofsinger CC, Wolfe SW. Common pediatric hand fractures. *Curr Opin Pediatr.* 2002;14(1):42–45. DOI: 10.1097/00008480-200202000-00007

11. Hosalkar HS, Matzon JL, Chang B. Nerve palsies related to pediatric upper extremity fractures. *Hand Clin.* 2006;22(1):87–98. DOI: 10.1016/j.hcl.2005.12.004

12. Khan MA, Vakhova EL, Aleksandrov AV, et al. Modern technologies of medical rehabilitation of children with post-traumatic neuropathies of the upper extremities. *Bulletin of Rehabilitation Medicine.* 2021;20(4):72–81. (In Russ.) DOI: 10.38025/2078-1962-2021-20-4-72-81

13. Bogolyubsky YA, Fayn AM, Sachkov AV, et al. Iatrogenic damage to the radial nerve during osteosynthesis of the humerus. Prevention, diagnosis

and treatment. *Russian Sklifosovsky Journal “Emergency Medical Care”.* 2020;9(1):51–60. (In Russ.) DOI: 10.23934/2223-9022-2020-9-1-51-60

14. Barrios C, Amillo S, de Pablos J, Cañadell J. Secondary repair of ulnar nerve injury. 44 cases followed for 2 years. *Acta Orthop Scand.* 1990;61(1):46–49. DOI: 10.3109/17453679008993065

15. Carlsen BT, Bishop AT, Shin AY. Late reconstruction for brachial plexus injury. *Neurosurg Clin N Am.* 2009;20(1):51–64. DOI: 10.1016/j.nec.2008.07.021

16. Patterson JMM, Russo SA, El-Haj M, et al. Radial nerve palsy: nerve transfer versus tendon transfer to restore function. *HAND.* 2022;17(6):1082–1089. DOI: 10.1177/1558944720988126

17. Langridge B, Griffin MF, Akhavan MA, Butler PE. Long-term outcomes following pediatric peripheral nerve injury repair. *J Hand Microsurg.* 2020;12(1):27–31. DOI: 10.1055/s-0039-1692928

18. Grigorovich KA. *Khirurgicheskoe lechenie povrezhdenii nervov.* Moscow: Meditsina, 1981. 304 p. (In Russ.)

19. Trescot AM, editor. *Peripheral nerve entrapments: Clinical diagnosis and management.* Springer International Publishing, 2016. 887 p.

20. Domkundwar S, Autkar G, Khadilkar SV, Virarkar M. Ultrasound and EMG-NCV study (electromyography and nerve conduction velocity) correlation in diagnosis of nerve pathologies. *J Ultrasound.* 2017;20(2):111–122. DOI: 10.1007/s40477-016-0232-3

21. Liu F, Zhu J, Wei M, et al. Preliminary evaluation of the sural nerve using 22-MHz ultrasound: a new approach for evaluation of diabetic cutaneous neuropathy. *PLoS One.* 2012;7(4):e32730. DOI: 10.1371/journal.pone.0032730

22. Mota SJ, Silva FP, Gil-Pereira M, et al. *Peripheral nerve ultrasound — anatomy and technique for diagnosis and procedures.* 2014. 48 p.

23. Ray WZ, Mahan MA, Guo D, et al. Erratum to: an update on addressing important peripheral nerve problems: challenges and potential solutions. *Acta Neurochir (Wien).* 2017;159(9):1775. DOI: 10.1007/s00701-017-3232-y

24. Berde CB, Strichartz GR. Local anesthetics. In: Miller R, Eriksson L, Fleisher L., et al. *Miller’s anesthesia.* 7th edition. Elsevier, 2009. DOI: 10.1016/B978-0-443-06959-8.00030-3

25. Miner JR, Paris PM, Yealy DM. Pain management. Marx J, Hockberger R, editors. *Mark Rosen’s emergency medicine.* 7th edition. Mosby, 2010. DOI: 10.1016/B978-0-323-05472-0.00186-9

26. Ludwin SK, Maitland M. Long-term remyelination fails to reconstitute normal thickness of central myelin sheaths. *J Neurol Sci.* 1984;64(2):193–198. DOI: 10.1016/0022-510x(84)90037-6

27. Udina E, Ceballos D, Gold BG, Navarro X. FK506 enhances reinnervation by regeneration and by collateral sprouting of peripheral nerve fibers. *Exp Neurol*. 2003;183(1):220–231. DOI: 10.1016/s0014-4886(03)00173-0
28. Menorca RM, Fussell TS, Elfar JC. Nerve physiology: mechanisms of injury and recovery. *Hand Clin*. 2013;29(3):317–330. DOI: 10.1016/j.hcl.2013.04.002
29. Dahlin LB. Chapter 1: Nerve injury and repair: from molecule to man. Peripheral nerve surgery — practical applications in the upper extremity. In: Slutsky DJ, Hentz VR, editors. *Peripheral Nerve Surgery*. Churchill Livingstone, 2006. P. 1–22. DOI: 10.1016/B978-0-443-06667-2.50006-X
30. Johnson EO, Soucacos PN. Nerve repair: experimental and clinical evaluation of biodegradable artificial nerve guides. *Injury*. 2008;39(3):S30–S36. DOI: 10.1016/j.injury.2008.05.018
31. Li R, Liu Z, Pan Y, et al. Peripheral nerve injuries treatment: a systematic review. *Cell Biochem Biophys*. 2014;68(3):449–454. DOI: 10.1007/s12013-013-9742-1
32. Sameem M, Wood TJ, Bain JR. A systematic review on the use of fibrin glue for peripheral nerve repair. *Plast Reconstr Surg*. 2011;127(6):2381–2390. DOI: 10.1097/PRS.0b013e3182131cf5
33. Jiang X, Lim SH, Mao H-Q, Chew SY. Current applications and future perspectives of artificial nerve conduits. *Exp Neurol*. 2010;223(1):86–101. DOI: 10.1016/j.expneurol.2009.09.009

ОБ АВТОРАХ

***Александр Андреевич Смирнов**, аспирант кафедры детской хирургии; врач-хирург; адрес: Россия, 103001, Москва, ул. Садовая-Кудринская, д. 15; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7274-8291>; eLibrary SPIN: 4994-9364; e-mail: smirnov_aan@bk.ru

Всеволод Витальевич Рыбченко, д-р мед. наук, главный научный сотрудник отдела детской реконструктивно-пластической хирургии; врач-хирург отделения реконструктивной микрохирургии; ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9635-891X>; eLibrary SPIN: 2545-8675; e-mail: sevasurgeon@gmail.com

Александр Владимирович Александров, заведующий отделением реконструктивной микрохирургии; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6110-2380>; eLibrary SPIN: 5229-0038; e-mail: alexmicrosurg@mail.ru

Павел Викторович Гончарук, врач-хирург отделения реконструктивной микрохирургии; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9560-037X>; eLibrary SPIN: 6801-9875; e-mail: goncharukpavel@yandex.ru

Руслан Асланчериевич Хагуров, врач-хирург отделения реконструктивной микрохирургии; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7944-8438>; e-mail: dr.khagurov@gmail.com

Ламия Яссер Идрис, аспирант кафедры детской хирургии; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4902-7939>; eLibrary SPIN: 1193-7787; e-mail: idrislamiya@mail.ru

Александр Николаевич Евдокимов, врач-детский хирург отделения реконструктивной микрохирургии; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9113-3612>; eLibrary SPIN: 9432-3519; e-mail: pediatrix@yandex.ru

Наталья Александровна Князева, студентка; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0771-6922>; e-mail: nata-knya@yandex.ru

34. Gu X, Ding F, Yang Y, Liu J. Construction of tissue engineered nerve grafts and their application in peripheral nerve regeneration. *Prog Neurobiol*. 2011;93(2):204–230. DOI: 10.1016/j.pneurobio.2010.11.002
35. Nichols CM, Brenner MJ, Fox IK, et al. Effects of motor versus sensory nerve grafts on peripheral nerve regeneration. *Exp Neurol*. 2004;190(2):347–355. DOI: 10.1016/j.expneurol.2004.08.003
36. Panseri S, Cunha C, Lowery J, et al. Electrospun micro- and nanofiber tubes for functional nervous regeneration in sciatic nerve transections. *BMC Biotechnol*. 2008;8:39. DOI: 10.1186/1472-6750-8-39
37. Muir D. The potentiation of peripheral nerve sheaths in regeneration and repair. *Exp Neurol*. 2010;223(1):102–111. DOI: 10.1016/j.expneurol.2009.05.038
38. Mackinnon SE, Doolabh VB, Novak CB, Trulock EP. Clinical outcome following nerve allograft transplantation. *Plast Reconstr Surg*. 2001;107(6):1419–1429. DOI: 10.1097/00006534-200105000-00016
39. Zhang Y, Luo H, Zhang Z, et al. A nerve graft constructed with xenogeneic acellular nerve matrix and autologous adipose-derived mesenchymal stem cells. *Biomaterials*. 2010;31(20):5312–5324. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2010.03.029
40. Pierucci A, de Duek EA, de Oliveira AL. Peripheral nerve regeneration through biodegradable conduits prepared using solvent evaporation. *Tissue Eng Part A*. 2008;14(5):595–606. DOI: 10.1089/tea.2007.0271

AUTHORS' INFO

***Alexander A. Smirnov**, postgraduate student; surgeon; address: 15 Sadovaya-Kudrinskaya st., Moscow, 103001, Russia; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7274-8291>; eLibrary SPIN: 4994-9364 e-mail: smirnov_aan@bk.ru

Vsevolod V. Rybchenok, Dr. Sci. (Med.), chief research associate of Research Institute of clinical surgery; surgeon of the Department of reconstructive microsurgery; ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9635-891X>; eLibrary SPIN: 2545-8675; e-mail: sevasurgeon@gmail.com

Alexander V. Alexandrov, head of the Department of reconstructive microsurgery; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6110-2380>; eLibrary SPIN: 5229-0038; e-mail: alexmicrosurg@mail.ru

Pavel V. Goncharuk, surgeon of the Department of reconstructive microsurgery; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9560-037X>; eLibrary SPIN: 6801-9875; e-mail: goncharukpavel@yandex.ru

Ruslan A. Khagurov, surgeon of the Department of reconstructive microsurgery; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7944-8438>; e-mail: dr.khagurov@gmail.com

Lamiya Ya. Idris, postgraduate student of the Department of pediatric surgery; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4902-7939>; eLibrary SPIN: 1193-7787; e-mail: idrislamiya@mail.ru

Alexander N. Evdokimov, surgeon of the Department of reconstructive microsurgery; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9113-3612>; eLibrary SPIN: 9432-3519; e-mail: pediatrix@yandex.ru

Nataliya A. Knyazeva, student; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0771-6922>; e-mail: nata-knya@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author