

Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы
«Научно-исследовательский институт неотложной
детской хирургии и травматологии – Клиника доктора Рошаля»
Департамента здравоохранения города Москвы

На правах рукописи

Пластуненко Елена Николаевна

Хирургическое лечение
закрытых посттравматических нейропатий у детей
с чрезмышечковыми переломами плечевой кости

3.1.10. Нейрохирургия

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
доктор медицинских наук Семенова Жанна Борисовна

Москва - 2026

Оглавление

Введение	4
Глава 1 Обзор литературы	11
1.1 Медико-социальные аспекты травматического повреждения нервов при чрезмыщелковых переломах	11
1.2 Механизмы и патоморфология травмы нервов при чрезмыщелковых переломах	12
1.3 Клиническая картина нейропатии при чрезмыщелковых переломах	18
1.3.1 Двигательные нарушения	19
1.3.2 Чувствительные нарушения	19
1.3.3 Вегетативные нарушения	20
1.4 Инструментальная диагностика нейропатий при чрезмыщелковых переломах	21
1.4.1 Электронейромиография и электромиография	21
1.4.2 Ультразвуковая диагностика	22
1.5 Лечение нейропатий при чрезмыщелковых переломах	25
1.5.1 Консервативное лечение	25
1.5.2 Хирургическое лечение	26
1.6 Интраоперационный нейромониторинг	29
1.7 Резюме	30
Глава 2 Материалы и методы	32
2.1 Клинические проявления и неврологическая оценка	33
2.2 Инструментальная диагностика	38
2.3 Хирургическое лечение	41
2.4 Интраоперационный нейромониторинг	43
Глава 3 Результаты исследования	46
3.1 Частота встречаемости и структура нейропатий после чрезмыщелковых переломов у детей	46
3.2 Особенности хирургического лечения	50
3.3 Роль интраоперационного нейромониторинга.....	64

3.4 Оценка эффективности лечения.....	68
3.5 Алгоритм дифференцированного подхода к выбору хирургического лечения.....	79
Заключение.....	81
Выводы	87
Практические рекомендации	89
Список сокращений.....	90
Список литературы.....	91

Введение

Актуальность исследования

Одним из наиболее часто встречающихся переломов в педиатрической практике является чрезмыщелковый перелом (ЧМП) плечевой кости. Особенность скелетной травмы этой области – частое вовлечение сосудисто-нервного пучка. Область локтевого сустава отличается объединением трех нервных стволов, отвечающих за функцию кисти. Повреждения локтевого сустава у детей, по данным различных авторов, составляют от 40 до 50% от числа общей травмы [1,10,43].

Чрезмыщелковые переломы занимают второе место по встречаемости среди всех переломов у детей, составляя 16,6% [63,66,87,94]. Это самый распространенный вид перелома дистального плеча у детей [14,23,30,75]. На их долю приходится 30% всех переломов конечностей у детей в возрастной группе до 7 лет [70,71]. Технический прогресс, коснувшийся детских увлечений и видов спорта, рост доли высокоэнергетических видов травмы предполагает рост травматизма в детской и подростковой популяции. Распространенность чрезмыщелковых переломов так же обусловлена анатомо-физиологическими особенностями области локтевого сустава. При травме связочный аппарат локтевого сустава у детей оказывается более устойчивым чем кость в нижнем отделе плеча, что обусловлено малой прочностью места перехода губчатой кости метафиза в кортикальную кость диафиза и истонченностью кости в области расположения двух ямок на передней и задней поверхности для венечного и локтевого отростка. Механизм травмы, как правило, разгибательный - падение на ладонь при разогнутой в локтевом суставе конечности (96-98%) [62,66,75,87,115]. Понимание механики перелома важно с точки зрения прогнозирования вероятности травмы периферических нервов.

По литературным данным частота повреждений периферических нервов при чрезмыщелковых переломах составляет 5-19% [59,90,91,98]. Согласно другим

публикациям на долю травмы нервов приходится от 2% до 35% [93,96]. Представленные публикации носят разрозненный характер – в значительной мере это связано с недостаточной стратификации повреждения нервов.

Несмотря на множество публикаций, риск травмы отдельных стволов при переломах локтевого сустава четко не определен. I.H.Y. Kwok и Z.M. Silk публикуют данные, по которым вероятность повреждения локтевого нерва составляет 43,4%, а на срединный и лучевой приходится 36,7% и 19,9% соответственно [89]. Концентрация всех трех стволов в области локтевого сустава обуславливает наш интерес к данной проблеме.

В момент перелома и смещения отломков кости ствол нерва может испытать нагрузку в виде резкого натяжения. Это приводит к нарушению внутривенозного кровообращения, повреждению *vasa nervorum* с формированием гематомы, внутривенозному разрыву (Sanderland III-IV), вплоть до полного анатомического перерыва. В ряде случаев, при повреждении мелких сосудов в области перелома образуется гематома, инволюция которой приводит к формированию рубцовой ткани. Формирование гематомы в месте травмы увеличивает вероятность повреждения нервных структур в 4,4 раза [112]. Нередко нейропатии встречаются в отсроченном периоде, на этапе формирования костной мозоли. Интерпозиция ствола нерва в линию перелома возможна как спонтанно, в момент травмы, так и в момент закрытой репозиции. Неустраненная на ранних этапах интерпозиция приводит к тяжелым и, зачастую, необратимым повреждениям нерва на протяженном участке, что в последствии требует полноценной микрохирургической реконструкции участка ствола.

Информация о ятрогенных повреждениях стволов нервов в литературных источниках носит разрозненный характер. По данным Ristic S., ятрогенные повреждения в общей структуре повреждений периферических нервов составляют 1-10% [101]. Выраженный отек мягких тканей в области травмы затрудняет поиск хирургических ориентиров, что создает дополнительные условия для ятрогении [116]. Наложение тугих циркулярных повязок на фоне посттравматического отека мягких тканей так же негативно сказывается на состоянии сосудисто-нервных

пучков. Неустраненная вовремя компрессия может привести к необратимой ишемии нерва [52,82]. В России данных по ятрогении нервов нет. Большинство из всех посттравматических нейропатий классифицируется как нейропраксия или «малый» аксонотмезис (Sanderland I-II) и спонтанно регрессирует в 95% случаев [110]. Однако, в ряде случаев восстановления не происходит, консервативная терапия остается малоэффективной, а потеря функций руки весьма значительной.

Степень разработанности темы

На сегодняшний день имеется достаточный объем клинических исследований, демонстрирующих возможности ультразвукового исследования (УЗИ), в том числе и для диагностики повреждений периферических нервов конечностей [28,41,42] и определения дальнейшей тактики лечения. Несмотря на это, имеются публикации о частоте допущенных диагностических и тактических ошибок у детей с повреждениями сосудисто-нервных пучков верхних конечностей до поступления в специализированное учреждение и влияние их на тактику ведения пациентов [39,58].

Довольно разноречивы взгляды специалистов относительно диагностических критериев и хирургической тактики при повреждении нервов верхних конечностей у детей [23,30,48,49,53,88,102,104]. Несмотря на использование микрохирургической техники, моторная и сенсорная функций кисти в отдаленном периоде травмы часто бывает разочаровывающей. Это, в свою очередь нередко приводит к инвалидизации и дезадаптации пациентов детского возраста.

Все вышеперечисленные факторы обуславливают актуальность выбранной нами темы.

Цель исследования

Оптимизировать хирургическое лечение посттравматических нейропатий у детей с чрезмышечковыми переломами плечевой кости.

Задачи исследования

1. Изучить частоту встречаемости и структуру нейропатий после

чрезмышцелковых переломов плечевой кости у детей.

2. Изучить особенности хирургического лечения закрытых повреждений периферических нервов после чрезмышцелковых переломов плечевой кости у детей.

3. Оценить роль и информативность интраоперационного мониторинга в выборе тактики хирургического лечения закрытых повреждений периферических нервов после чрезмышцелковых переломов плечевой кости у детей.

4. Оценить эффективность хирургического лечения закрытых повреждений периферических нервов после чрезмышцелковых переломов плечевой кости у детей.

5. Разработать дифференцированный подход к выбору хирургического лечения закрытых повреждений периферических нервов после чрезмышцелковых переломов плечевой кости у детей, основанный на результатах комплексного обследования и дополнительных интраоперационных данных.

Материалы и методы исследования

В работе использовался ретроспективный анализ хирургического лечения 56 пациентов детского возраста с посттравматическими закрытыми нейропатиями после чрезмышцелковых переломов плечевой кости (60 операций), проходивших лечение в ГБУЗ «НИИ НДХиТ – Клиника доктора Рошалья» с 2018 по 2023 годы. Группу исследования составили 56 пациентов детского возраста с 3-х до 18 лет. Критериями исключения были выбраны случаи посттравматических нейропатий с доказанным анатомическим перерывом ствола и открытыми переломами костей локтевого сустава. Проведение диссертационного исследования одобрено локальным этическим комитетом ГБУЗ «НИИ НДХиТ – Клиника доктора Рошалья».

Научная новизна

Впервые в условиях специализированного стационара определена частота встречаемости посттравматических нейропатий при чрезмышцелковых переломах, проанализирована структура закрытых повреждений, определена частота случаев, требующих оперативного лечения.

Впервые при чрезмышцелковых переломах проанализированы и описаны виды повреждений нервов в соответствии с интраоперационной картиной. В соответствии с видами повреждений предложены варианты оперативных вмешательств.

Впервые определена и обоснована роль интраоперационного нейромониторинга в хирургии посттравматических нейропатий у детей.

Впервые разработан алгоритм выбора хирургической тактики при закрытых повреждениях нервов у детей с чрезмышцелковыми переломами плечевой кости в зависимости от интраоперационной визуальной оценки состояния нервного ствола и данных интраоперационной диагностики.

Практическая значимость

Полученные данные о распространенности и характере посттравматических нейропатий при закрытых чрезмышцелковых переломах плечевой кости у детей имеют практическое значение с точки зрения этапности оказания своевременной специализированной помощи и раннего выявления пациентов, нуждающихся в хирургическом лечении.

Сформулированы сроки и показания к хирургическому лечению для закрытых посттравматических нейропатий. Определен объем хирургического вмешательства, с учетом вида травматического повреждения, дооперационной инструментальной диагностики и интраоперационных данных. Уточнена роль интраоперационного нейромониторинга в выборе непосредственной хирургической тактики и определении прогноза восстановления.

Разработанный метод дифференцированного подхода к хирургическому лечению закрытых посттравматических нейропатий после чрезмышцелковых переломов плечевой кости у детей, основанный на результатах комплексного обследования и дополнительных интраоперационных данных, позволяет оптимизировать подход к срокам хирургии, эффективному выбору непосредственного вида вмешательства, минимизировать неоправданную выжидательную тактику и улучшить результаты лечения.

Внедрение в практику

Результаты работы и практические рекомендации внедрены в практику отдела нейрохирургии и нейротравмы ГБУЗ «НИИ НДХиТ - клиника доктора Рошалья» и отделения нейрохирургии ГБУЗ «ДГКБ им. З.А. Башляевой ДЗМ».

Основные положения, выносимые на защиту

1. Закрытые повреждения нервов при чрезмышечковых переломах плечевой кости без анатомического перерыва подлежат микрохирургической реконструкции в случаях необратимых локальных структурных изменений, препятствующих восстановлению.

2. Дооперационная диагностика закрытых повреждений нерва в ряде случаев не определяет тяжесть травмы, а, следовательно, и объем хирургического лечения. Объем хирургического вмешательства при закрытых повреждениях определяется интраоперационной картиной и данными интраоперационной диагностики.

3. Интраоперационный нейромониторинг в объеме прямой стимуляции нерва – метод, позволяющий оценить функциональное состояние, тяжесть закрытого повреждения нерва, выбрать объем хирургии и определить прогноз восстановления.

4. Лечение пациентов с закрытыми повреждениями периферических нервов требует дифференцированного подхода, который включает в себя определенный алгоритм обследования с учетом срока травмы.

5. Дифференцированный подход к хирургическому лечению с учетом характера и тяжести повреждения нерва обеспечивает в 95% случаев хорошее восстановление функций.

Апробация работы

Основные положения и результаты диссертационного исследования доложены и обсуждены на: EUROSPINE 2022 (Милан, 19-21 октября 2022 г.); Ежегодной школе НИИ НДХиТ «Неотложная нейрохирургия детского возраста» (Москва, 22 ноября

2023 г.); X Всероссийском съезде нейрохирургов (Нижний Новгород, 10-13 сентября 2024 г.); Школе нервно-мышечных болезней им. Б.М. Гехта (Москва, 17-19 сентября 2024 г.); XIII Национальном конгрессе с международным участием имени Н.О. Миланова «Пластическая хирургия, эстетическая медицина и косметология» (Москва, 9-10 декабря 2024 г.); VII съезде врачей неотложной медицины «Ключевые точки оптимизации скорой, экстренной и неотложной медицинской помощи в РФ» (Москва, 19 сентября 2025 г.); Ежегодной научно-практической конференции с международным участием, посвященной актуальным вопросам травматологии и ортопедии детского возраста «Турнеровские чтения» (Санкт-Петербург, 2-3 октября 2025 г.); на заседании Ученого совета ГБУЗ «НИИ НДХиТ - клиника доктора Рошаля» 18 июня 2025 г.; на заседании Московского общества нейрохирургов в ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России 30 октября 2025 г.

Публикации по теме диссертации

По результатам исследования опубликовано 5 печатных работ, в которых отражены основные результаты диссертационного исследования, из них 3 статьи – в научных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России, 2 – в виде статей и тезисов в журналах и сборниках материалов отечественных и международных съездов и конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация в виде рукописи изложена на 103 страницах машинописного текста, иллюстрирована 11 таблицами, 49 рисунками, состоит из введения, обзора литературы, главы «Материалы и методы», главы с результатами собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и списка литературы, включающего 117 источников (51 отечественных и 66 зарубежных).

Глава 1 Обзор литературы

1.1 Медико-социальные аспекты травматического повреждения нервов при чрезмыщелковых переломах

Локтевой сустав в детской травматологической практике занимает особое место - и по высокой частоте травм, и по своей сложности [34,82]. Повреждения локтевого сустава у детей, по данным различных авторов, составляют от 40 до 50% [1]. Частота травмы локтевого сустава в подростковом возрасте составляет 40-50% от всех повреждений опорно-двигательного аппарата [10,43], а у детей занимает одно из первых мест [12].

Чрезмыщелковые переломы занимают второе место по встречаемости среди всех переломов у детей, составляя 16,6% [63,66,87,94]. Это самый распространенный вид перелома дистального плеча у детей [14]. На их долю приходится 30% всех переломов конечностей у детей в возрастной группе до 7 лет [70,71].

Технический прогресс, коснувшийся детских увлечений и видов спорта, увеличение частоты высокоэнергетических видов травмы предполагает рост травматизма в детской и подростковой популяции.

Распространенность чрезмыщелковых переломов так же обусловлена анатомо-физиологическими особенностями строения локтевого сустава у детей. При травме связочный аппарат локтевого сустава у детей оказывается более прочным по сравнению с костью в нижнем отделе плеча, что обусловлено малой прочностью места перехода губчатой кости метафиза в кортикальную кость диафиза и истонченностью кости в области расположения двух ямок на передней и задней поверхности для венечного и локтевого отростка. Механизм травмы, как правило, разгибательный - падение на ладонь при разогнутой в локтевом суставе конечности (96-98%) [62,66,86,115] При этом дистальный фрагмент смещается кзади, кверху и нередко в локтевую сторону относительно проксимального

фрагмента. Реже встречается сгибательный механизм перелома, при котором падение происходит на согнутую в локте руку (2-4%) [59,62,66,67,79,87,99,115] При нем дистальный фрагмент смещается кпереди кверху. Понимание механики перелома важно с точки зрения прогноза травмы периферических нервов.

По литературным данным частота повреждений периферических нервов при чрезмыщелковых переломах составляет 5-19 % [59,90,91,98] Согласно другим публикациям на долю травмы нервов приходится от 2% до 35 % [93,96]. Brown с соавторами в своих работах опубликовали данные о 11% вероятности повреждения нервов и 3% вероятности ятрогенного повреждения [59]. Анализируя случаи повреждения нервов при чрезмыщелковых переломах у детей, Jessica C. Babal, BS, Charles T. сообщают о 37 публикациях, описывающих разгибательный механизм перелома, 10 публикациях - сгибательный механизм и 15 - оба механизма [56]. По их данным, вероятность травмы нервов при разгибательном механизме составляет 12,7%, при сгибательном – 16,6%. Для разгибательного механизма наиболее вероятна травма срединного нерва, для сгибательного – локтевого. Большинство повреждений классифицируется как нейропраксия или «малый» аксонотмезис (Sanderland I-II) [110] и спонтанно регрессирует в 95% случаев. Это оправдывает консервативное ведение и выжидательную тактику в отношении большинства посттравматических нейропатий.

Все вышеперечисленные закономерности часто основаны не на личном опыте, а на метаанализе, недостатком которого является разный подход специалистов к диагностике и лечению травмы нервов.

1.2 Механизмы и патоморфология травмы нервов при чрезмыщелковых переломах

В детском возрасте до 10-12 лет типичным механизмом травмы является падение с разной высоты во время бега и прыжков. Особенности механизма травмы локтевого сустава у подростков являются агрессивные и экстремальные виды развлечений, несоразмеримые небезопасные силовые движения при занятиях спортом.

Основными причинами повреждения сосудов и нервов при переломах локтевого сустава являются ушиб и ущемление костными отломками, сдавление отечными мягкими тканями при глухой гипсовой повязке, а также ятрогенные повреждения после закрытой ручной репозиции отломков [4,82]. Исключение составляют дети первых трех лет жизни, у которых резкое потягивание за ручку с элементом пронации часто приводит к пронационному подвывиху головки лучевой кости.

Г.А. Баиров (1962) разделил все осложнения при чрезмыщелковых переломах на 4 группы по механизму их возникновения [13]:

1. Осложнения, полученные в момент травмы: повреждения нервных стволов (9,7%), сдавление сосудов от смещения отломков (3%), сочетанные переломы (4,8%).

2. Осложнения, возникающие в момент закрытой репозиции.

3. Ранние осложнения, возникающие в первые дни после репозиции, обусловленные чрезмерным сдавлением области локтевого сустава и предплечья фиксирующей повязкой, нарастающей гематомой.

4. Поздние осложнения: оссификация капсулярно-связочного аппарата, оссифицирующий миозит, образование псевдоартроза.

Несмотря на многочисленные публикации, факторы риска и частота повреждения отдельных стволов при переломах локтевого сустава четко не определены. Отдельные источники свидетельствуют о вероятности травмы срединного нерва до 17%, переднего межкостного - до 21%, лучевого - 10%, заднего межкостного - 4% и локтевого - 12%. [58,92,93]. Ряд крупных исследований сообщает о более частой травматизации лучевого нерва [59,68], в то время как другие выделяют срединный нерв [90] и передний межкостный нерв [93,97]. При этом вероятность повреждения нескольких нервов составляет в среднем 1,7% [56]. Culp и Ostermann в своих публикациях сообщают, что при чрезмыщелковых переломах чаще всего травмируется срединный нерв и его передняя межкостная ветка [90], а лучевой и локтевой нервы занимают 2-е и 3-е место, соответственно. I.H.Y Kwok и Z.M.Silk публикуют данные, по которым вероятность повреждения

локтевого нерва составляет 43,4%, а на срединный и лучевой приходится 36,7% и 19,9% соответственно [89]. Вероятность травмы нескольких нервов составляет 15,7% [90]. Срединный и локтевой нервы наиболее подвержены травматизации при переломах локтевого сустава [97]. Непосредственная близость стволов этих нервов к кости делает их уязвимыми [57,97].

Как уже было отмечено ранее, самый распространенный механизм перелома - разгибательный. При таком механизме дистальный фрагмент смещается кзади-латерально или кзади-медиально. Задне-медиальное смещение чаще приводит к травматизации нервов: при таком механизме перелома наиболее вероятно повреждение лучевого нерва. Задне-латеральное смещение чаще приводит к травме срединного нерва [101].

На долю сгибательного механизма приходится только 2-4% переломов [115], но с ним сопряжено большее количество травмы нервов. При сгибательном механизме, при смещении периферического фрагмента кпереди и кверху наиболее часто травмируются локтевой и срединный нервы (в частности, передний межкостный).

В ряде случаев, при повреждении мелких сосудов в области перелома образуется гематома, инволюция которой приводит к формированию рубцовой ткани. Visser и Molenaar с соавторами считают, что формирование гематомы в месте травмы в разы увеличивает вероятность развития нейропатии [74]. Сформированная рубцовая ткань может оказывать на ствол нерва воздействие разной степени, от демиелинизации до внутривольной ишемии.

Нередко нейропатии встречаются в отсроченном периоде, на этапе формирования костной мозоли. Чем младше ребенок, тем интенсивнее протекают регенераторные процессы костной ткани [10,43]. Наиболее высокие репаративные способности костной ткани проявляются у детей первых 5 лет жизни. В лечебной тактике это обязывает к стремлению как можно раньше и наиболее щадящим образом сопоставлять сместившиеся отломки, так как образование избыточной костной мозоли при неправильном стоянии отломков происходит очень быстро, что может выступать дополнительным фактором посттравматической нейропатии.

Довольно активными репаративными свойствами обладает костная ткань детей возрастной группы 6-10 лет [16,26]. Интерпозиция ствола нерва в линию перелома возможна как спонтанно, в момент травмы, так и в момент закрытой репозиции. Неустраненная на ранних этапах интерпозиция ствола приводит к тяжелым и, зачастую, необратимым повреждениям нерва на протяженном участке, что в последствии требует полноценной реконструкции участка ствола.

Информация о ятрогенных повреждениях стволов нервов в литературных источниках носит разрозненный характер. Ятрогенные повреждения в общей структуре повреждений периферических нервов составляют 1-10% [101]. Касаясь этого вопроса, в первую очередь, авторы упоминают о случаях повреждения нервов при чрезкожном металлоостеосинтезе (МОС) спицами. Общепринятое мнение, что латеральный МОС спицами является наиболее безопасным методом хирургического лечения, в то время как проведение спиц через медиальный мышцелок сопряжено с вероятностью травматизации локтевого нерва [92,100,116]. Zalt I и Waters PM объяснили это гипермобильностью и возможным смещением ствола нерва на медиальный надмышцелок в момент сгибания конечности в локтевом суставе при проведении спиц [116]. Выраженный отек мягких тканей в области травмы затрудняет поиск хирургических ориентиров, что создает дополнительные условия для ятрогении [115]. Кроме того, сценарий интерпозиции нервов возможен и при закрытой репозиции перелома. Наложение тугих циркулярных повязок на фоне посттравматического отека мягких тканей так же негативно сказывается на состоянии сосудисто-нервных пучков. Не устраненная вовремя компрессия нерва может привести к необратимой ишемии нерва [52,81]. В литературе по-прежнему продолжают обсуждаться показания к хирургическому лечению.

Классификация повреждений нервов, предложенная Н. Seddon предполагает нейропраксию, аксонотмезис и нейротмезис [103]. Нейропраксия характеризуется обратимым повреждением миелиновой оболочки без повреждения иных структур. Нарушение функции при нейропраксии всегда носит обратимый характер. При аксонотмезисе и нейротмезисе повреждаются оболочки нерва и нервные волокна,

процесс протекает по законам валлеровской дегенерации. Восстановление функций при аксонотмезисе возможно только при отсутствии экзо- и интраневральной компрессии [11,103]. При нейротмезисе спонтанное восстановление практически исключено, из-за диастаза или формирования рубцовой ткани, препятствующей регенерации аксонов. Классификация Н. Seddon не отражает всего многообразия видов повреждений нервов. Степень повреждения внутривольных структур более детально отображает классификация S. Sunderland [110] (Рисунок1).

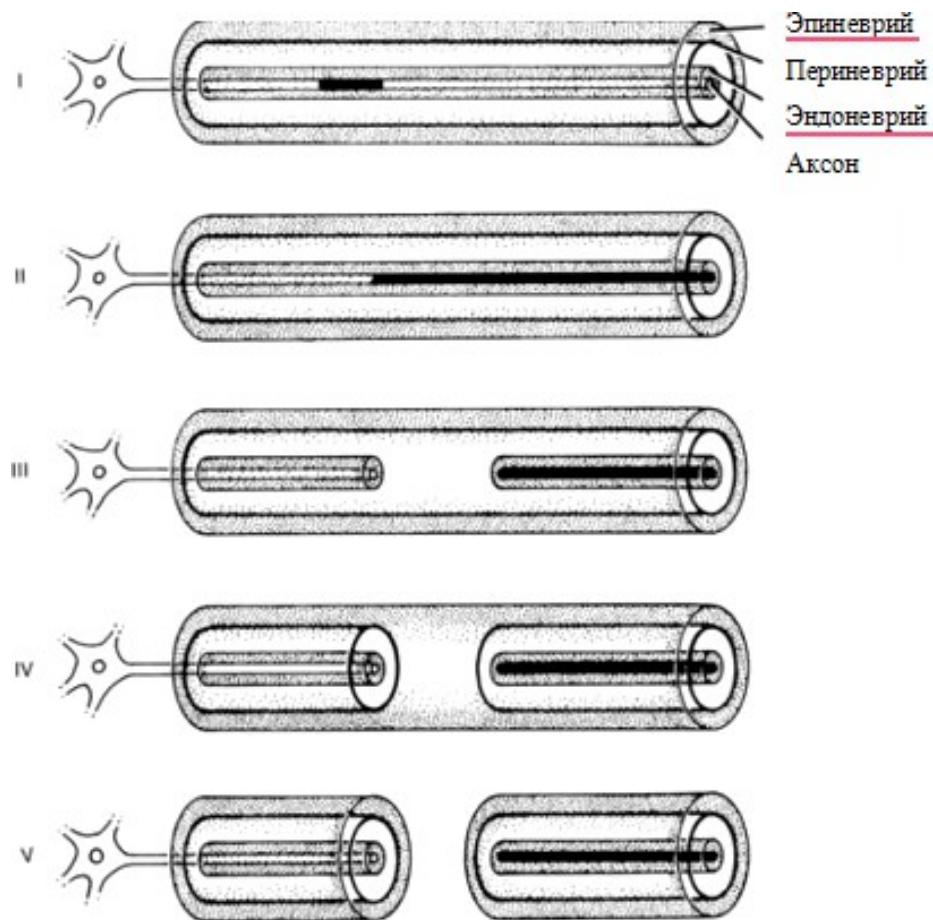


Рисунок 1 - Схематичное изображение степеней повреждения нервов по Sunderland (<https://entokey.com/tests-of-facial-nerve-function/>)

Согласно ей нейропраксия приравнивается к I степени повреждения, а вот аксонотмезис включает II, III и IV степени. Sunderland II подразумевает повреждение аксонов, Sunderland III включает повреждение аксонов и эндоневрия, при Sunderland IV повреждаются аксоны, эндоневрий и периневрий. Соотношение

классификации Seddon и Sunderland с прогнозом восстановления представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Соотношение классификации Seddon и Sunderland с прогнозом восстановления (источник: составлено автором)

Seddon	Sunderland	Характер повреждения	Восстановление	Прогноз
Нейропраксия	I	Локальное повреждение миелиновой оболочки	Хорошее спонтанное восстановление от 3-х недель	Лучший
Аксонотмезис	II	Целостность аксона нарушена, эндо-, пери-, эпиневрй интактный. Валлеровская дегенерация	Возможно полное восстановление, скорость роста аксонов 2-3 мм/сутки	
	III	Целостность аксона и эндоневрия нарушена, пери-, эпиневрй интактный. Валлеровская дегенерация	Медленная регенерация аксонов (1 мм/сут), формируется рубцовая ткань	
	IV	Целостность аксона, эндо-, периневрия нарушены, эпиневрй интактный. Валлеровская дегенерация	Регенерации аксонов нет, препятствует рубцовая ткань. Необходима хирургическая реконструкция	
Нейротмезис	V	Полное повреждение целостности нерва	Регенерация аксонов невозможна. Необходима хирургическая реконструкция	Худший

Срок восстановления при аксонотмезисе по Seddon (Sunderland II-IV) принципиально соотносится со скоростью прорастания аксонов – 1-2 мм/сутки.

Однако при травме Sunderland III-IV повреждение внутривольных оболочек способствует формированию рубцовой ткани, которая затрудняет регенерацию аксонов. При нейротмезисе (Sunderland V) регенерация аксонов невозможна из-за разрыва ствола или внутривольной рубцовой дезорганизации участка нерва [50]. В момент перелома и смещения отломков кости ствол нерва может испытать нагрузку в виде резкого натяжения. Это приводит к нарушению внутривольного кровообращения, повреждению *Vasa nervorum* с формированием гематомы, внутривольному разрыву (Sunderland III-IV), вплоть до полного анатомического перерыва. Чаще всего происходит сегментарная демиелинизация (Sunderland I) или повреждение аксонов с сохранением целостности осевых цилиндров (Sunderland II), что предполагает спонтанное восстановление. В случае внутривольного кровоизлияния часто формируется протяженный внутривольный рубец. Рубцовая ткань препятствует адекватному кровоснабжению нерва, регенерации аксонов и ремиелинизации, что, в конечном итоге, может препятствовать спонтанному восстановлению.

В основе спонтанного восстановления лежит регенерация аксонов, ремиелинизация с помощью Шванновских клеток. В окончательном варианте формируется более тонкий аксон с тонкой миелиновой оболочкой, в его структуре больше перехватов Ранвье, а скорость проведения по нему более медленная. В то же время денервации, начиная с первой недели начинается процесс мышечной атрофии, 80% которой приходится на первые 3 месяца [50]. После трех месяцев начинаются фиброзные изменения в концевой пластине целевых мышц, что так же влияет на процесс реиннервации.

1.3 Клиническая картина нейропатии при чрезмышечелковых переломах

Довольно частой ошибкой является отсутствие оценки поврежденной конечности на предмет выявления нервно-сосудистых расстройств [3,9,39,46,47].

По данным некоторых авторов у 26,6% детей своевременно не диагностируются повреждения периферических нервов, а у 6,6% - сосудистые нарушения [3,38].

Клиническая картина повреждения нервных стволов зависит вида нерва (двигательный, чувствительный или смешанный), тяжести и давности травмы, и, в рамках диагноза, включает следующие проявления [78].

1.3.1 Двигательные нарушения

Двигательные нарушения проявляются парезами разной степени тяжести. Слабость сгибания 1-3 пальцев и ослабление пронации характерны для повреждения срединного нерва, слабость щипкового хвата - для переднего межкостного нерва. Слабость разведения и сгибания в 4-5 пальцах, приведение 1-го пальца характерны для поражения локтевого нерва. Слабость разгибания кисти - для поверхностной ветви лучевого нерва, разгибания пальцев и отведения 1-го пальца - для глубокой ветви лучевого нерва [87]. При оценке функций кисти стоит учитывать возможность перекрестной иннервации за счет наличия моторных анастомозов срединного и локтевого нервов (Мартина-Грубера, Мариначчи, Рише-Канью) [55, 64, 80, 85, 105-107, 114]. Наличие перекрестной моторной иннервации может достаточно долго маскировать повреждение нерва. Для более позднего течения (3 недели с момента травмы) характерны мышечные атрофии - сглаженность сухожильного рисунка тыла кисти (для лучевого нерва), гипотрофия мышц возвышений большого пальца (для срединного нерва) и мизинца (для локтевого нерва), червеобразных мышц кисти. Для застарелых повреждений, в особенности при неверной тактике лечения, характерно формирование мышечных, анталгических и рефлекторных контрактур [33].

1.3.2 Чувствительные нарушения

Чувствительные нарушения нередко является основным критерием для установления поражения того или иного нерва. Проявления складываются из клиники раздражения или выпадения. При раздражении чувствительных волокон возникают боли и парестезии в зоне иннервации. Нередко при частичном поражении чувствительных нервов восприятие имеет неадекватную интенсивность и сопровождается крайне неприятным ощущением (гиперпатия). Крайним

выражением раздражения чувствительных волокон является каузалгическая боль (синдром Пирогова–Вейр–Митчелла). Каузалгическая боль более характерна для поражения срединного нерва, богатого симпатическими волокнами. Эта боль характеризуется тягостным жгучим оттенком и несколько уменьшается при погружении конечности в холодную воду [5, 6, 33, 84]. При этом, стоит учитывать, что проявления гиперпатии у детей не так выражены или могут отсутствовать, что вероятно обусловлено незрелостью периферической нервной системы до 7-9 лет. Для проявлений выпадений чувствительности характерна гипестезия, вплоть до анестезии.

1.3.3 Вегетативные нарушения

Вегетативные нарушения складываются из вазомоторных и секреторно-трофические расстройства и более характерны для травмы срединного нерва. Сосудистые расстройства проявляются чаще цианозом, реже гиперемией. К секреторным расстройствам относят ангидроз или гипергидроз. Из трофических расстройств наблюдаются атрофия кожи, сухость, исчерченность и ломкость ногтей, остеопороз костей, трофические язвы [5].

Для раннего выявления травмы периферических нервов, при возможности необходима оценка неврологического статуса с целью выявления грубых выпадений движений или чувствительности. Это позволяет определить степень утраты функций и предположить тяжесть травмы на этапе первичного травматологического звена. Повторный неврологический осмотр рекомендован в первые сутки после репозиции и МОС. Его результаты позволят травматологу заподозрить такие механизмы травмы, как интерпозиция ствола в линию перелома, перфорация, компрессия или разрыв элементами МОС. Наличие отека в области наложения гипсовой повязки в сочетании с неврологическим дефицитом, позволяют предположить компрессионно-ишемический характер повреждения нервов. Пациенты с подозрением на посттравматическую нейропатию должны наблюдаться неврологом с целью динамической оценки неврологического дефицита. При этом стоит учитывать низкую комплаентность возрастной группы

младше 7-8 лет, отсутствие акцента ребенка на чувствительных нарушениях, относительную редкость развития нейропатического болевого синдрома [27,54]. Сложности проведения тестов и оценки чувствительности у детей младшего возраста, невыраженность симптома Тинеля предполагают трудности диагностики и оценки динамики травмы периферических нервов. Неоправданно оптимистичный взгляд специалистов на репаративный потенциал у детей создает предпосылки для позднего выявления травмы периферических нервов, в том числе, требующей хирургического лечения.

1.4 Инструментальная диагностика нейропатий при чрезмышечковых переломах

1.4.1 Электронейромиография и электромиография

Среди инструментальных методов диагностики стимуляционная электронейромиография (ЭНМГ) и игольчатая электромиография (ЭМГ) являются объективными инструментами оценки функционального состояния нервно-мышечного аппарата.

Стимуляционная ЭНМГ широко используется как при постановке диагноза, определения уровня, выраженности и характера поражения, так и для объективного контроля эффективности лечения и оценки прогноза исхода травмы нерва.

Игольчатая ЭМГ позволяет оценить характер изменения потенциалов двигательных единиц (ПДЕ), выраженность денервационных изменений и наличие реиннервации. Снижение амплитуды М-ответа на 90% и ниже по сравнению со здоровой стороной и отсутствие потенциалов двигательных единиц (ПДЕ) при произвольном сокращении мышц являются наиболее точными инструментальными предикторами неблагоприятного исхода [19,40].

Принято считать, что результаты ЭНМГ, проведенной в период от 3 до 6 месяцев после травмы, обладают наибольшей прогностической ценностью [48]. Результаты, полученные в период до 3 месяцев после травмы, имеют меньшую прогностическую ценность, однако эти данные более полезны при выборе тактики лечения. Регистрация низкоамплитудных полифазных ПДЕ при игольчатой ЭМГ в

течении 3х месяцев после травмы является признаком реиннервации. Рекрутирование ПДЕ в мышцах в ранний период (3–5 мес.) с большой долей вероятности будет свидетельствовать о спонтанном восстановлении функции в будущем. Отсутствие ПДЕ после 3 месяцев является косвенным свидетельством неполного восстановления, после 7 месяцев вероятность неполного восстановления повышается [19].

Оценка амплитуды М-ответа и характеристик ПДЕ позволяет прогнозировать продолжительность травматической болезни и степень восстановления поврежденного нерва. В частности, отмечено, что прогностическим критерием благоприятного исхода перенесенной травмы периферического нерва является сохранение амплитуды дистального М-ответа $\geq 0,5$ мВ [48], тогда как отсутствие ПДЕ и М-ответа соответствует неблагоприятному прогнозу спонтанного восстановления функции нерва.

На практике результаты ЭНМГ могут расходиться с клинической картиной [102]. Это может быть связано с ко-стимуляцией нервов в области локтевого сгиба, с наличием анастомоза срединного и локтевого нервов, а также с неравномерным поражением невралных фасцикулл, в зависимости от механизма травмы. Также при анализе современной отечественной и зарубежной литературы было установлено, что в настоящее время нет четких прогностических нейрофизиологических критериев процесса реиннервации. Ограничением метода является невозможность дифференцировать аксонотмезис и нейротмезис на определенных стадиях течения нейропатии. Было предложено достаточное количество ЭНМГ-критериев, позволяющих решать эти задачи, однако отсутствует консенсус относительно наиболее рациональных показателей для оценки функционального восстановления [102].

1.4.2 Ультразвуковая диагностика

Сложность при травмах периферических нервов заключается в точной диагностике уровня травмы, ее вида и степени [8,29]. Особую сложность диагностики составляют закрытые травмы нервов [17,31]. В последнее десятилетие

ряд отечественных авторов [2,18,24,36,42] предлагают использовать ультрасонографию как легкодоступный и достаточно информативный метод визуализации нервных стволов. Преимуществом ультразвукового исследования периферических нервов является неинвазивность, отсутствие лучевой нагрузки, отсутствие возрастных ограничений, проведение исследования в режиме реального времени, а так же минимальные экономические затраты на исследование [8,22].

В процессе сканирования оценивают анатомическую целость нервного ствола, его структуру, четкость контуров нерва и состояние окружающих тканей. Изображение нерва имеет ряд характерных признаков. В поперечной проекции он выглядит как овальное или округлое образование с четким гиперэхогенным контуром и внутренней гетерогенной упорядоченной структурой ("соль - перец", "медовые соты") [41,48,51]. В продольной проекции нерв лоцируется в виде линейной структуры с четким эхогенным контуром, в составе которой правильно чередуются гипо- и гиперэхогенные полосы - "электрический кабель" [48].

Ультразвуковое исследование периферических нервов необходимо выполнять широкополосным, высокочастотным датчиком с частотами сканирования в диапазоне 5-12 МГц. При ультразвуковом исследовании поверхностно расположенных нервов необходимо применять датчики, с высокой частотой сканирования (до 15-17 МГц). Для исследования глубоко расположенных нервов необходимо использовать линейный» или конвексный датчик с частотой сканирования 2-5 МГц [8,41,51]. Нерв должен быть исследован в 2-х взаимно перпендикулярных плоскостях сканирования. Исследования необходимо начинать с поперечного сканирования, для наиболее быстрого, точного и четкого выявления расположения нерва в местах его анатомической локализации и дифференцировки нерва от окружающих тканей, а также для одномоментной пространственной оценки прилежащих к нерву структур. После поперечного сканирования датчик необходимо развернуть продольно относительно его ствола, не теряя при этом изображения нерва, и продолжить исследование нерва в продольном направлении. Для выявления наличия компрессии нервного ствола необходимо провести качественную и количественную оценку параметров ультразвукового исследования

(оценить эхогенность нерва, ровность его контуров, провести изменения площади поперечного сечения нерва на трех уровнях и толщины нервного ствола). В ходе исследования необходима визуализация окружающих тканей (на предмет отека, наличия гематом, смещенных костных отломков и костной мозоли) и взаимоотношение с нервным стволом. В месте ущемления нервного ствола между костными фрагментами или металлоконструкциями отмечают истончение нерва в месте поражения и утрату упорядоченной эхоструктуры. Такую же картину можно увидеть и при сдавлении рубцовой тканью или костной мозолью (при сохранении целостности нерва). Проксимальнее места сдавления диаметр нерва увеличивается за счет утолщения отдельных пучков в его составе. При этом ствол имеет нечеткие контуры и структуру пониженной эхогенности. Дистальнее места повреждения структура нерва может быть не изменена.

Заключение о нарушении анатомической целостности нерва может быть сделано на основании визуализации дистального и проксимального концов нерва с выявленным диастазом между ними. При этом в первые дни после травмы концы нерва, как правило, не изменены и лишь по прошествии некоторого времени (от 3 недель) формируется посттравматическая неврома. Структура невромы гипоехогенна и однородна, имеет четкие контуры и аваскулярно. При выявлении полного разрыва нерва необходимо четко обозначить топографически место разрыва и провести изменения диастаза, а также, при наличии терминальной невромы, провести ее изменения в длину, т.к. это необходимо для планирования объема реконструктивного вмешательства.

Для частичного повреждения целостности нерва характерно формирование внутривольной невромы. При выявлении частичного разрыва необходимо обозначить топографически место разрыва, протяженность поврежденного участка, указать толщину сохранившейся части поврежденного нерва, оценить наличие краевой или внутривольной невромы [18].

Наибольшую сложность представляет диагностика тракционных повреждений. При контузии нерва или его трaкции в случае сохранения целостности наружной оболочки изменяется внутренняя структура нервного ствола.

Происходит утрата дифференцировки на отдельные волокна, нерв становится гипэхогенным, с нечетким контуром. Перечисленные выше ультразвуковые признаки выявляют непосредственно в месте повреждения, в проксимальном и дистальном направлении нервный ствол, как правило, не изменен.

Повреждения II степени по Sunderland характеризуются репаративной активностью, таким образом при УЗИ это выражается отеком и увеличением диаметра фасцикул [60]. Повреждения III степени по Sunderland проявляются однородным гипэхогенным расширением нерва, но тщательная оценка выявляет сохраненную фасцикулярную целостность, которая коррелирует с сохранением целостности периневрия. Повреждения II и III степени по Sunderland трудно различимы при визуализации, хотя Sunderland III может вызывать фокальное веретенообразное гипэхогенное расширение нерва, которое часто описывается как вид псевдоневромы. Повреждения IV степени сопровождаются повреждением периневрия, что приводит к интраневральному рубцеванию, препятствующему регенерации аксонов. Возникающая в результате дезорганизованная регенерация аксонов и рубцевание могут образовывать неврому на протяжении, что является характерным признаком повреждения IV степени [61,73].

По данным Салтыковой В.Г. УЗИ позволяет выявить полный и частичный разрыв периферического нерва, не проводя дополнительных методов исследования (чувствительность - 97,5%, специфичность - 99,7%, точность теста - 99,4%) [18]. Учитывая сроки формирования концевых и внутриствольных невром, обозначение внутриствольных изменений в нерве целесообразно проведение исследования не ранее чем через 3 недели после травмы. При подозрении на компрессию ствола правомерно назначение более раннего исследования.

1.5 Лечение нейропатий при чрезмышечелковых переломах

1.5.1 Консервативное лечение

Учитывая тот факт, что большинство посттравматических нейропатий после чрезмышечелковых переломов спонтанно регрессируют [109], консервативное лечение является первым этапом лечения. К методикам современной

консервативной терапии нейропатий относятся медикаментозное лечение, лечебная физкультура и гимнастика, ортезирование, механотерапия, методы нейромодуляции, мануальная терапия и физиолечение [51].

Принципиально важным в лечении является профилактика контрактур мышц кисти и заместительная стимуляция мышц, для предотвращения денервации. Ограничение применения препаратов ингибиторов ацетилхолинэстеразы (АХЭ) дает дополнительный простор для методик ультрафонофореза. Консервативное лечение посттравматических нейропатий должно начинаться еще на этапе иммобилизации чрезмышечелковых переломов [51]. Считают, что при повреждениях периферических нервов при диафизарных переломах плеча и травмах области локтевого сустава у детей, в большинстве случаев консервативное лечение приводит к полному восстановлению функции нерва. Тот факт, что большинство посттравматических нейропатий относят к нейропраксии и «малому» аксонотмезису (Sunderland II), оправдывает подход к консервативному ведению большей части этих пациентов [110]. Повреждения, относящиеся к аксонотмезису протекают по законам валлеровской дегенерации. Восстановление соотносится со скоростью прорастания аксонов (1-2 мм/сутки) и напрямую связано с расстоянием до терминальной пластины мышц [50]. При этом восстановление функций предполагается в полном объеме при отсутствии внешней и внутренней компрессии нерва [11]. Разная степень внутривольной дезорганизации при аксонотмезисе (Sunderland III-IV) делает прогноз возможности, сроков и степени восстановления функций затруднительным. Сложность клинической и инструментальной диагностики разных степеней повреждения нервов, разные сроки предполагаемого восстановления предполагают необходимость часто придерживаться консервативной тактики.

1.5.2 Хирургическое лечение

Современные подходы к хирургическому лечению травмы нервов, такие как использование микрохирургической техники, микроскопа, адаптированной техники шва, не гарантируют хорошего восстановления функций в отдаленном

периоде. Эффективность хирургии зависит от вида повреждения и типа выполненного вмешательства. Хирургическое лечение повреждений периферических нервов при ЧМП многие авторы [23,30] рекомендуют производить только при полном перерыве нервных стволов.

В.И. Цимбалюк [49] считает показанием к хирургии неэффективность консервативного лечения, прогрессирующую симптоматику, стойкий болевой синдром, электрофизиологические признаки денервации и явную компрессию ствола нерва патологическими субстратами. Показанием к оперативному лечению является отсутствие эффекта от консервативного лечения в течение 1,5-2 месяцев, а ревизия нерва позже 3-4 месяцев грозит необратимыми изменениями в дистально расположенных мышцах, потерявших иннервацию.

По данным многих зарубежных авторов вмешательство целесообразно проводить через 2-6 месяцев после травмы [53,104]. Другие предлагают более ранние сроки вмешательства – 3-6 недель после травмы [88].

Принимая во внимание все вышеперечисленное, можно сказать, что четкие алгоритмы принятия решения есть только в отношении доказанного анатомического перерыва нерва. Учитывая редкость полного перерыва нервов при ЧМП, подход к лечению большей части пациентов остается малоизученным.

Методы хирургического лечения посттравматических нейропатий подробно описаны отечественными авторами [13,15,16,50], выделяют наружный и внутренний невролиз, нейрорафию и аутооттрансплантацию.

Невролиз - метод выделения ствола нерва из рубцов с целью улучшения условий его кровообращения, регенерации и функционирования. При этом ствол освобождается от экстраневральной компрессии, возникшей в результате повреждения соседних тканей [50,111]. Минимально инвазивная декомпрессия локтевого нерва описана в литературе, как альтернативный метод лечения синдрома кубитального канала [32,112], с более коротким сроком восстановления после операции, за счет меньшей хирургической травмы. Подобная методика может быть воспроизведена и при простой рубцовой компрессии ствола локтевого нерва на уровне локтевого сустава.

Эндоневролиз (внутренний невролиз) заключается в иссечении межфасцикулярной фиброзной ткани и направлен на устранение внутривольной компрессии. В ходе эндоневролиза, используя увеличивающую оптику и микрохирургический инструментарий выполняется эпинеуротомия и выполняется интерфасцикулярный невролиз, а рубцовая ткань иссекается до полной декомпрессии отдельных фасцикулярных групп на всем участке сдавления [111]. Наружный невролиз является методом освобождения нерва от рубцовой ткани, окружающей ствол. В то время как внутренний невролиз – это метод устранения межфасцикулярного фиброза с целью устранения фасцикулярной компрессии.

Целями наружного и внутреннего невролиза являются декомпрессия, восстановление адекватного кровотока и улучшение условий регенерации. При этом наружный и внутренний невролиз могут быть как самостоятельными операциями, так и ее этапами. Одной из задач внутреннего невролиза является оценка состояния фасцикулярных групп под контролем увеличения. Обнаружение внутривольного рубца или внутривольной невромы, препятствующих регенерации аксонов, должно привести к их иссечению и микрохирургической реконструкции нерва. В зависимости от степени, протяженности и доли поражения окружности ствола, это могут быть нейрорафия (с наложением эпинеурально-фасцикулярных швов), межфасцикулярная аутотрансплантация и парциальная межфасцикулярная трансплантация. Основными принципами микрохирургии нервов является отсутствие натяжения, соответствие калибра фасцикулярной группы и калибра трансплантата и учет внутривольной топографической анатомии нерва. Принимая во внимание особенности локтевой области (подвижность крупного сустава и изменение расположения функциональных фасцикулярных групп во всех трех стволах), эти принципы имеют большое значение в хирургии нейропатий при чрезмышечковых переломах.

Нейрорафия метод восстановления целостности нерва путем наложения швов «конец в конец». Выполняется при условии возможности сведения дистального и проксимального отрезков без натяжения [50]. Условием метода

практикой. Интраоперационный нейромониторинг (ИОНМ) является одним из стандартов безопасности проведения вмешательств на функционально значимых зонах ЦНС. ИОНМ периферических нервов, как правило, проводят в тех случаях, когда есть риск их повреждения. О применении ИОНМ непосредственно в хирургии на периферических нервах сообщают лишь отдельные отечественные авторы [40].

ЭНМГ показатели при аксонотмезисе и нейротмезисе схожи. Этот факт говорит о том, что ЭНМГ не влияет в ряде случаев на выбор непосредственной хирургической тактики. ИОНМ предоставляет полезную информацию, которая дополняет данные предоперационной диагностики. ИОНМ осуществляется путем адаптации обычных методов электродиагностики в условиях операционной [117].

Важным этапом оценки функционального состояния ствола нерва и отдельных его групп является интраоперационная стимуляция. Получение сокращения с целевых мышц при стимуляции выше уровня повреждения свидетельствует об отсутствии нарушения очаговой проводимости, в то время как отсутствие получения сокращения на субмаксимальных силах стимула может говорить о локальном ее нарушении. На данный момент метод прямой стимуляции полностью оправдал себя как инструмент для локализации нервных стволов и предотвращения их повреждения в ходе операций [76-78,117]. При хирургическом лечении компрессионных нейропатических синдромов, прирост амплитуды М-ответа к концу операции расценивается как свидетельство эффективности декомпрессии нерва.

1.7 Резюме

На сегодняшний момент для интраоперационной функциональной оценки периферических нервов используются 2 методики:

1. Прямая стимуляция нерва – метод, при котором нерв стимулируется биполярным стимулятором с подачей стимулов силой до 4мА и регистрацией М-ответов при помощи игольчатых электродов с тестируемых мышц. Регистрация М-ответа и сокращение целевых мышц свидетельствует о сохранности проведения по

моторной порции нерва [40,50,53];

2. Запись потенциала действия участка нерва – метод, при котором участок нерва длиной не меньше 6 см, с триполярного стимулирующего электрода подаются одиночные импульсы длительностью 0,1-1 мкс силой 1-7 мА (напряжением 1-80 В). Регистрация потенциала действия выполняется биполярным полуокружным электродом с самого ствола. Регистрация потенциала действия свидетельствует о проводимости нерва на тестируемом участке [95-98].

Интраоперационная функциональная оценка травмированного сегмента нерва имеет решающее значение в хирургии периферических нервов. На ее основе выполняется либо только невролиз, либо резекция с последующей реконструкцией нерва [77,84]. Из отечественных авторов наиболее подробно описал необходимость интраоперационной нейрофизиологической оценки Ф.С. Говенько в 2010 г., указав на целесообразность записи прямого потенциала действия нерва с травмированного участка [11]. Однако последующие отечественные публикации на тему травмы периферических нервов не отражают популярности интраоперационной физиологии.

Интраоперационный мониторинг - инструмент, позволяющий уточнить объем хирургии и принять оптимальное решение по хирургической тактике.

Суммируя все вышперечисленное, можно сказать, что закрытое повреждение нервов при чрезмышечелковых переломах – ситуация знакомая клиницистам, зачастую, успешно поддающаяся консервативному лечению. Однако, в ряде случаев, предсказать вероятность, сроки и степень восстановления функций невозможно. Методы диагностики дают противоречивые результаты в определении лечебной и непосредственной хирургической тактики. Эти факты определяют актуальность выбранной нами темы.

Глава 2 Материалы и методы

Исследование основано на ретроспективном анализе хирургического лечения пациентов детского возраста с посттравматическими нейропатиями после ЧМП.

В исследование вошли 56 пациентов, проходивших лечение на базе отдела нейрохирургии и нейротравмы НИИ НДХиТ с 2018 по 2023 годы.

Критерии включения:

- возраст до 17 лет включительно;
- клиника нейропатии, связанная с ЧМП;
- отсутствие грубых контрактур в локтевом суставе и кисти.

Критерии исключения:

- открытые повреждения нервов на фоне открытых переломов;
- доказанный УЗ визуализацией анатомический перерыв нерва (наличие концевой невромы, диастаз).

Возраст пациентов составил от 3 до 17 лет включительно (средний возраст - 8,5 лет \pm 3,3). Распределение пациентов по возрасту представлено на рисунке 3.

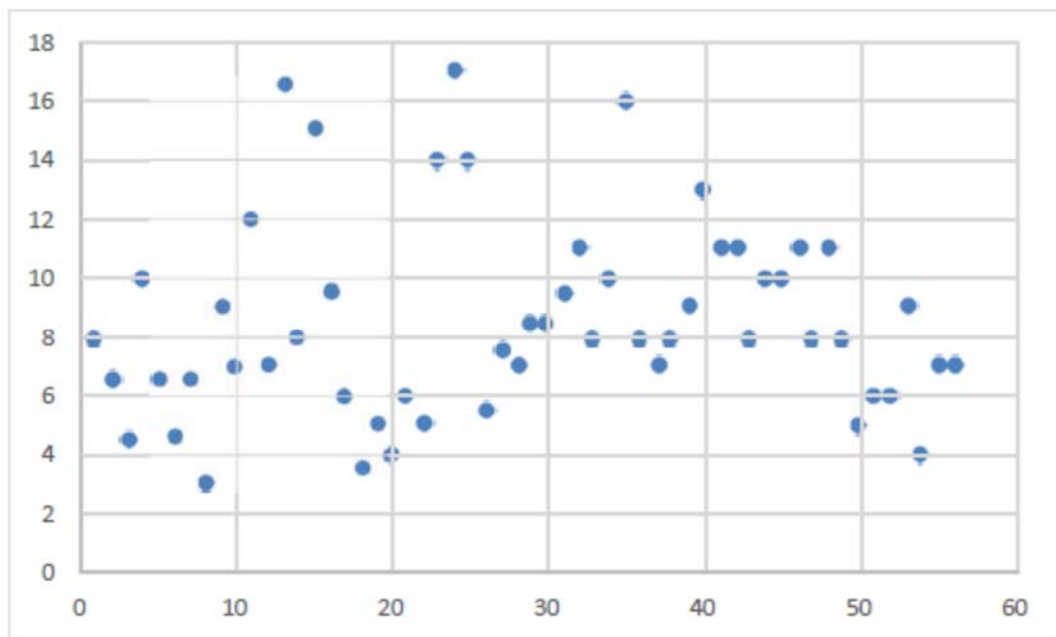


Рисунок 3 - Распределение пациентов по возрасту

Пол пациентов: 34 пациента мужского пола, 22 – женского.

При изучении условий получения травмы установлено, что 44 ребенка получили бытовую травму (падение на руку), 8 - спортивную травму, 4 - пострадали в результате дорожно-транспортного происшествия.

Предшествующее травматологическое пособие: у 53 пациентов (94,64%) применена закрытая репозиция и МОС спицами, у 1-го (1,79%) - открытая репозиция с наkostным остеосинтезом, 2-м (3,57%) - закрытая репозиция и наложение циркулярной гипсовой повязки. Консервативную терапию получали все 56 пациентов (100%).

Сроки обращения составили от 0,5 до 12 месяцев с момента травмы (в среднем $4,5 \text{ месяца} \pm 2,2$). Распределение пациентов по срокам обращения представлено на рисунке 4.

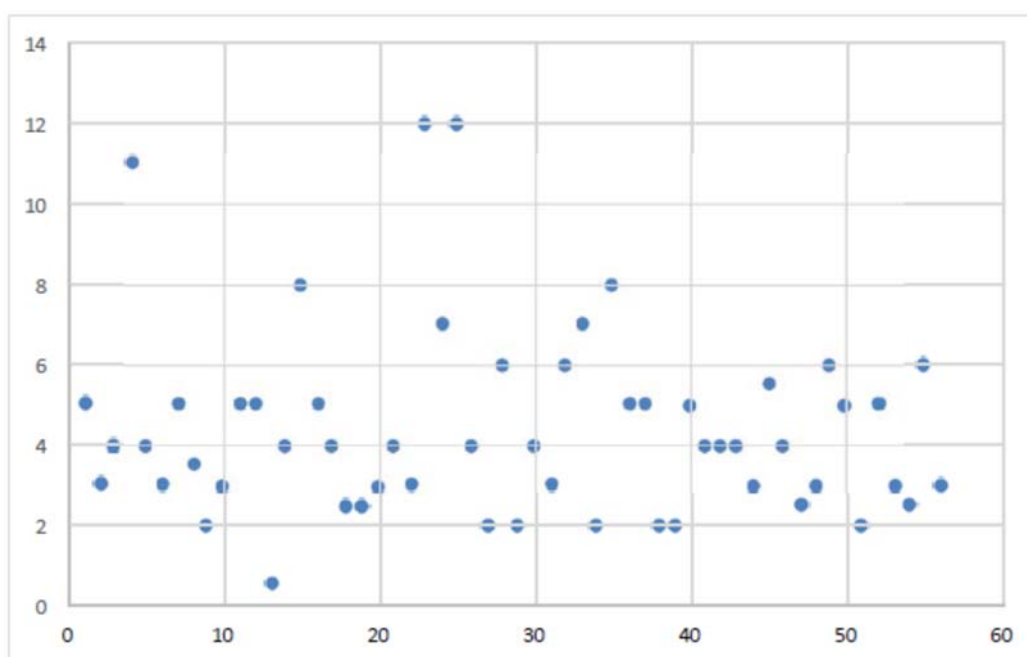


Рисунок 4 - Распределение пациентов по срокам обращения (в месяцах)

2.1 Клинические проявления и неврологическая оценка

Из 56 пациентов (100%) парез в кисти беспокоил 52 (93%), сенсорные жалобы (гипо- и анестезия) - 45 пациентов (80,36%), нейропатический болевой синдром обнаружен у 18 пациентов (32,14%), гипотрофия мышц кисти - у 27 (48,21%).

Оценка двигательных нарушений проводилась по шкале MRC. У всех 56

пациентов сила была оценена на 0-2 балла. Для общей оценки общей силы кисти оценивалась сила кистевого или цилиндрического хвата. Также все комплаентные пациенты (n=50) выполняли тест щипкового захвата (последовательное сопоставление 1-го со 2-м, 3-м, 4-м и 5-м пальцами). Пациентам с поражением срединного нерва проводился тест сгибания дистальной фаланги 2-го пальца (для исследования поражения переднего межкостного нерва), исследовался симптом Бенедикта (парез сгибания 2-3 пальцев). Пациенты с поражением локтевого нерва тестировались на силу глубокого сгибателя 5-го пальца, мышцы, отводящей мизинец. Пациентам с поражением лучевого нерва исследовалась сила разгибателя запястья. Для оценки функции заднего межкостного нерва исследовалась сила разгибателя 1-го пальца и общего разгибателя пальцев.

Сенсорная функция нами оценивалась по наличию гипо-, гиперестезии и анестезии в кистевых зонах иннервации. С учетом значительной доли пациентов возрасте до 6-7 лет мы не использовали бальную оценку для оценки чувствительности.

Пациенты так же тестировались на наличие нейропатического болевого синдрома. Он проявлялся в виде выраженной поверхностной гиперестезии. Нейропатический болевой синдром часто игнорируется специалистами, занимающимися нейропатиями в детской практике [21]. Возможно, отсутствие внимания к нему связано с незавершенным процессом миелинизации периферических нервов у детей до 8 лет. В нашем исследовании из 30 детей младше 8 лет нейропатический болевой синдром выявлен у 9, и еще у 9 – старше 8 лет. У детей возраста младше 6-7 лет он выражался не вербально, а в избегании тактильных контактов с предметами обихода, одежды, поверхностей.

Исследовался тест Тиннеля на уровне локтевого сустава (положительный тест у 55 пациентов (96,5%).

Клиническая симптоматика поражения срединного нерва была выявлена у 21 пациента (37,5%). Она включала моторные (парез кистевого хвата и щипкового захвата, положительный симптом Бенедикта), сенсорные (снижение или отсутствие чувствительности, боль в зонах иннервации срединного нерва) и

вегетативные (гипогидроз, гипотермия кожных покровов в зонах иннервации) симптомы. Из у 12-ти отмечалась полное или частичное выпадение всех функций нерва: парез в 1-3 пальцах, снижение или отсутствие чувствительности в зоне иннервации срединного нерва, нейропатический болевой синдром, гипотрофия мышц возвышения 1-го пальца, гипотермия в зоне иннервации срединного нерва. У двух пациентов отмечен парез в пальцах, гипестезия, нейропатический болевой синдром без атрофии. У двух пациентов была гипестезия, болевой синдром и гипотрофия мышц без пареза в кисти. У трех пациента отмечена только симптоматика пареза в пальцах и гипестезия. Один пациент был с онемением и болью в зоне иннервации, и один - с парезом пальцах и болевым синдромом. Положительный симптом Бенедикта был выявлен у 12 пациентов (Рисунок 5).



Рисунок 5 - Фотография кисти пациента с нейропатией срединного нерва

Клиника поражение локтевого нерва отмечалась у 30 пациентов (53,57%) и выражалась в комбинации моторных (пареза в 4-5 пальцах, положительного симптома Вартенберга и Фромена), сенсорных (гипо-, анестезия в 4-5 пальцах и области возвышения мизинца) и трофических (гипотрофия мышцы 1-го межпальцевого промежутка, червеобразных мышц 1/2 безымянного пальца и мизинца) - 15 пациентов (Рисунок 6).



Рисунок 6 - Фотография кисти пациента с нейропатией локтевого нерва

Нейропатический болевой синдром в зоне иннервации отмечался только у двух пациентов. Клиника пареза и гипо- анестезии без атрофии мышц была у 8 пациентов. Изолированные моторные нарушения отмечены у 4х пациентов. Картина поражения локтевого нерва с сенсорной, трофической симптоматикой, болевым синдромом, но без парезов отмечена у одного пациента.

Нейропатия лучевого нерва была у 9 пациентов (16,1%) и выражалась в парезе разгибания кисти, пальцев и отведения 1-го пальца (Рисунок 7).



Рисунок 7 - Фото кисти пациента с нейропатией лучевого нерва

Изолированный парез отмечен у 4 пациентов. Парез в комбинации с анестезией тыла кисти и пальцев был у 4 пациентов. У одного пациента отмечены парез и анестезия с нейропатическим болевым синдромом.

Клиника мононейропатии отмечалась у 52 пациентов (92,86%). Изолированное поражения срединного нерва отмечено у 17 пациентов (30,36%), локтевого – у 26 пациентов (46,43%), лучевого – у 9 пациентов (16,07%). Еще у 4 (7,14%) была клиника сочетанного поражения срединного и локтевого нервов.

Таким образом, в нашей группе исследования из 56 пациентов были выявлены признаки нейропатии 60 нервов (100%): 21 – срединного (35%), 30 – локтевого (50%) и 9 – лучевого (15%) (Рисунок 8).

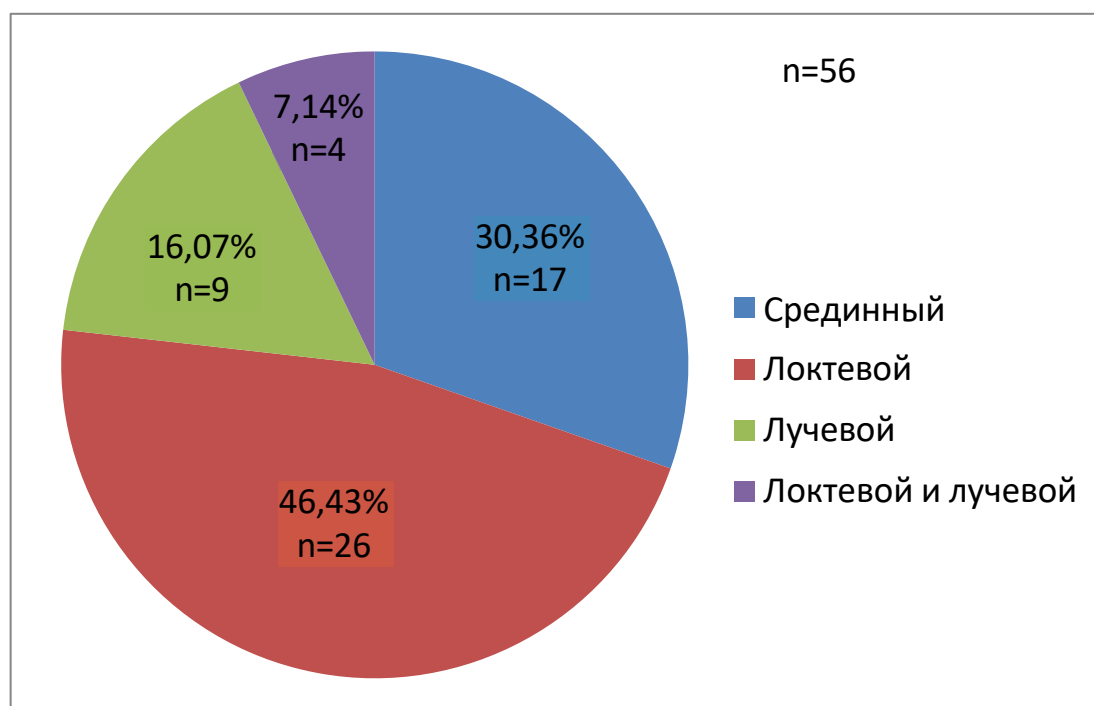


Рисунок 8 - Долевое распределение травмы нервов

Из 56 пациентов клиника пареза была у 52 (92,86%), сенсорные нарушения – у 48 (85,71%), нейропатический болевой синдром – у 18 (32,14%).

При суммарной оценке клинических проявлений учитывался каждый из 60 случаев нейропатии (Таблица 2).

Таблица 2 - Симптомы посттравматических нейропатий

Симптомы	Число пациентов n = 56 (100%)		Количество нейропатий n = 60 (100%)	
	Число	Процент	Число	Процент
Моторные	52	92,86%	56	93,33%
Сенсорные	48	85,71%	49	81,67%
Болевой синдром	18	32,14%	19	31,67%

Клинические проявления при поражении срединного нерва распределялись равномерно. Для поражения локтевого и лучевого нерва боль была самым редким симптомом. Жалобы на атрофию мышц наиболее характерно было для поражения локтевого нерва (Рисунок 9).

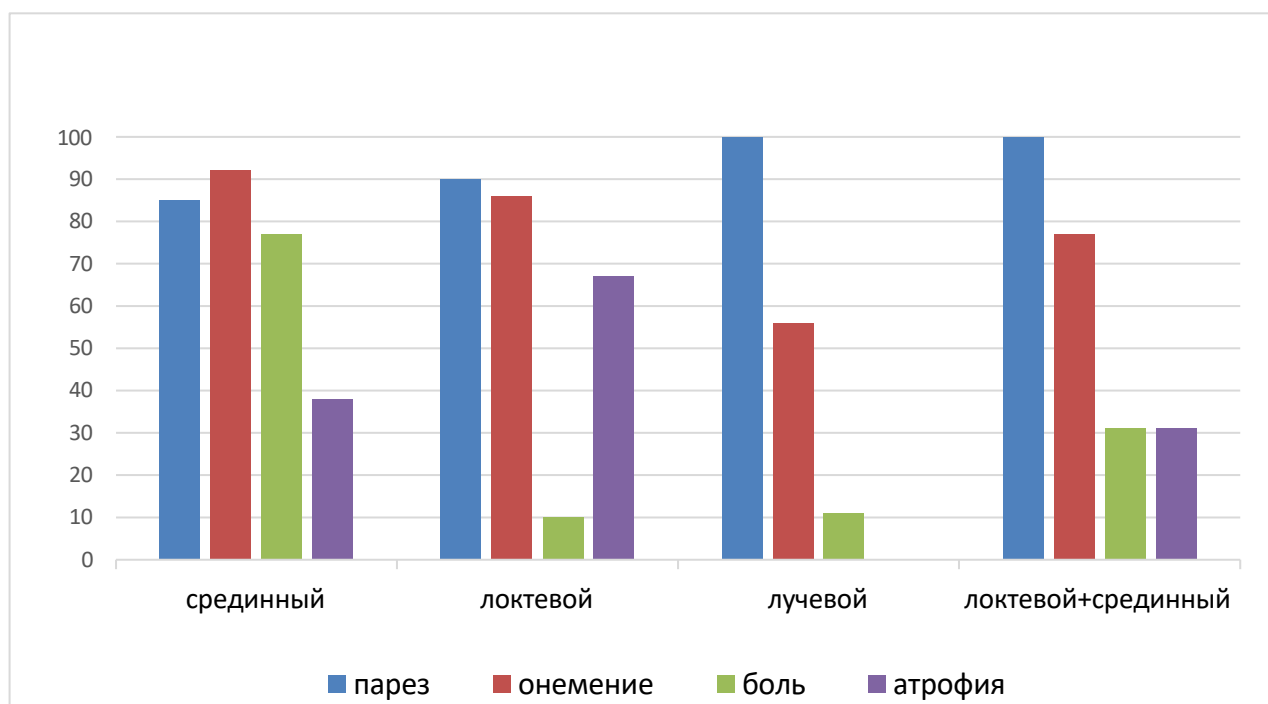


Рисунок 9 - Структура клинических проявлений по видам нервов

2.2 Инструментальная диагностика

Инструментальная диагностика включала в себя стимуляционную ЭНМГ, игольчатую ЭМГ и УЗИ нервов.

Стимуляционная ЭНМГ была выполнена 56 пациентам в сроки 2 - 12 месяцев (Рисунок 10). Проведено исследование 60 нервов. Пациентам со сроком травмы 4 месяца и более (n=32, 57,4%) выполнена игольчатая ЭМГ.

Оценивалась проводимость моторных и сенсорных волокон исследуемых нервов (СРВм, СРВс, амплитуд М-ответов, амплитуд потенциала действия сенсорного нерва), наличия или отсутствия спонтанной активности в мышцах, наличия паттерна рекрутирования и потенциалов двигательных единиц (электронейромиограф «Нейро МВП микро», Нейрософт Россия). Протокол исследования зависел от количества поврежденных нервов. С целью избегания эффекта ко-стимуляции сила тока при исследовании моторных волокон составляла не более 15-18 мА, в случае наличия анастомоза между моторной порцией срединного и локтевого нервов объем исследования расширялся при мононейропатии. Регистрация потенциала действия сенсорного нерва (ПДСН) осуществлялась кольцевыми электродами, в случае наличия ответа его амплитуда сравнивалась с интактной стороной. Значимым считалось снижение ПДСН более 50% в сравнении со здоровым нервом.

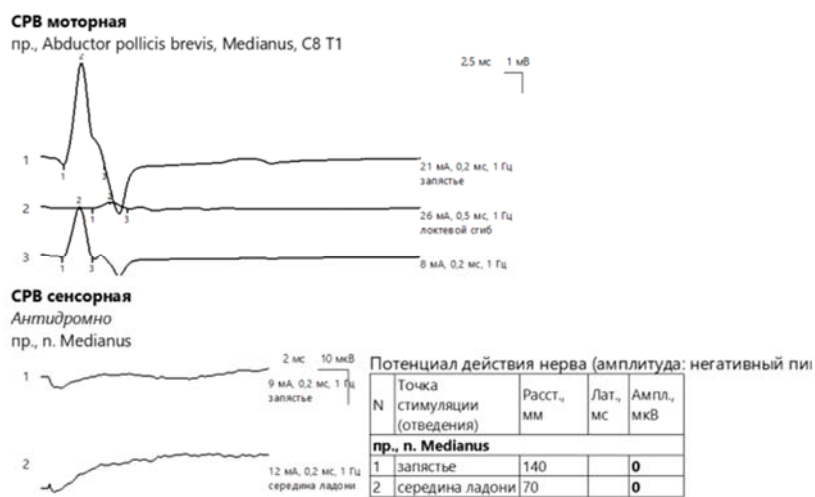


Рисунок 10 - Иллюстрация к протоколу ЭНМГ срединного нерва

При игольчатой ЭМГ использовался концентрическим игольчатый электрод. При поражении срединного нерва тестировалась m. Abductor pollicis brevis. При исследовании локтевой порции тестовыми мышцами были выбраны M. interosseus dorsalis и M. adductor digiti minimi. При поражении лучевого нерва оценивались M. Extensor pollicis brevis и M. Extensor carpi radialis.

При невозможности произвольного сокращения мышцы оценивалась

наличие или отсутствие спонтанной активности, при наличии произвольного сокращения – паттерн рекрутирования, его усиление при напряжении, а также характеристики ПДЕ (амплитуда, длительность и полифазность).

Ультразвуковая нейровизуализация выполнялась всем 56 пациентам на аппарате Philips (EPIQ 5, iU-22 X-MATRIX) с использованием широкополосного линейного датчика с частотой 5-12 МГц.

Выполнялось поперечное и продольное сканирование ствола поврежденного нерва на уровне с нижней трети плеча до верхней трети предплечья (Рисунок 11).

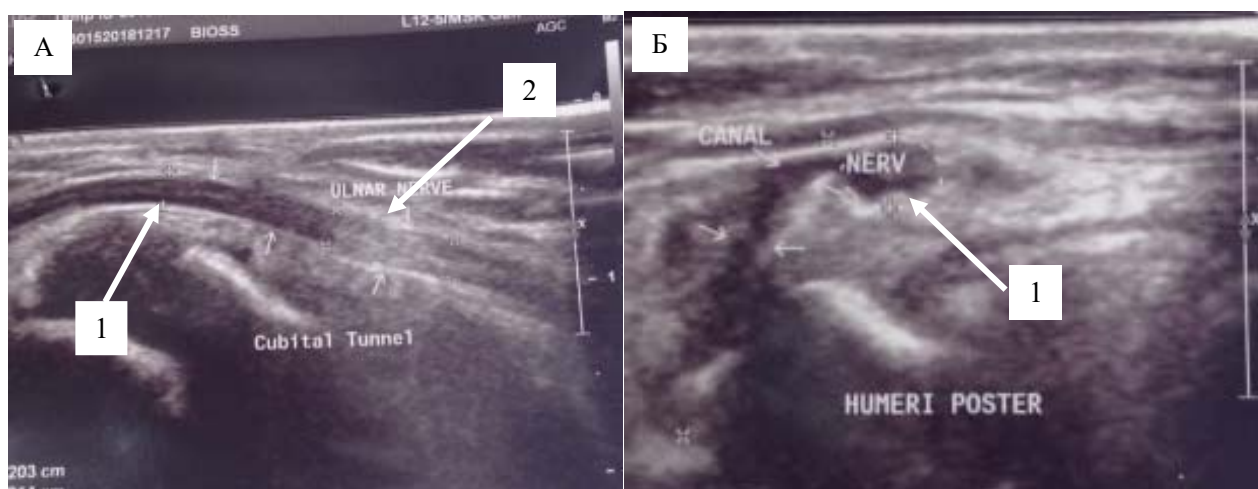


Рисунок 11 - Снимки УЗИ локтевого нерва на уровне локтевого сгиба:

А - продольное сканирование Б – поперечное сканирование
1 – локтевой нерв, 2 – участок внутривольных изменений нерва

В ходе диагностики производилась оценка целостности ствола нерва, его анатомического хода, внутривольной структуры (наличие внутривольных невром, рубцов, артефактов от костной мозоли и элементов МОС), а также состояние тканей, прилежащих к стволу нерва.

Клинико-неврологическая оценка и УЗИ нерва выполнены у всех 56 (100%) пациентов, ЭНМГ также проведена 56 (100%) пациентам. Комплексную консервативную терапию в течении 3х месяцев и более получили 44 (79%) пациента, по результатам которой не было отмечено положительного эффекта. Еще 12 пациентов (21%) получали консервативное лечение менее 3-х месяцев.

Показания к хирургическому лечению вынесены на основании:

- неэффективности консервативной терапии в течении 3-х и более месяцев

при наличии моторных нарушений;

- нейропатическая боль в течении 1 месяца;
- прогрессирующая симптоматика;
- нарушение проводимости по данным ЭНМГ в сочетании с УЗ-картиной

травмы ствола нерва на уровне локтевого сустава.

2.3 Хирургическое лечение

Планирование операции осуществлялось на основании предоперационной ЭНМГ и данных УЗИ. Конечный объем операции определялся интраоперационными находками и, в ряде случаев, данными ИОНМ.

Всем 56 пациентам было выполнено 60 хирургических вмешательств (Рисунок 12). Все операции выполнялись под эндотрахеальным наркозом.



Рисунок 12 - Схема количества операций

В нашем исследовании 52 пациента оперированы по поводу повреждения одного нерва, еще 4 пациента оперированы по поводу травмы срединного и локтевого нервов.

Невролиз был выполнен в 28 случаях (46,6%): срединного нерва - 4 операции, локтевого нерва - 19 операций, лучевого - 5 операции. Невролиз с транспозицией

выполнялся в 8-ми случаях (13,3%) при посттравматической компрессии локтевого нерва. Эндоневролиз был выполнен 11 (18,3%) пациентам: 8-ми с поражением срединного нерва, двум с поражением локтевого нерва и одному - с поражением лучевого. Методика выполнялась с применением микрохирургического инструментария под контролем увеличения бинокулярной лупы x 3,5 и под контролем ИОНМ. Нейрорафия выполнена в 10 (16,6%) случаях: в 7-ми случаях – срединного, в двух случаях - лучевого (общего ствола - 1 и глубокой ветви - 1), в одном случае - локтевого. Методика выполнялась в увеличительной лупе x 3,5 с использованием микрохирургического инструмента и атравматичного шовного материала 6/0, 7/0 и 8/0. В трех случаях (5%) пациентам потребовалась аутооттрансплантация: срединного нерва - двум пациентам, лучевого нерва – одному. Виды и количество операций представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Виды и количество операций

Вид операции	Количество операций	Процент
Невролиз	28	46,7
Невролиз с транспозицией	8	13,3
Эндоневролиз	11	18,3
Нейрорафия	10	16,7
Аутооттрансплантация	3	5
Всего	60	100

Хирургическое вмешательство выполнялось под с использованием бинокулярной лупы (увеличением x 3,5) или микроскопа ОРМІ Pentero. В качестве аутооттрансплантата использовался икроножный нерв. Забор аутооттрансплантата выполнялся в нижней трети голени через контрапертуру в верхней трети при помощи неврального стриппера. Микрохирургическая техника осуществлялась путем наложения 2-3 узловых швов (монофиламентным шовным материалом 8/0-10/0) между межфасцикулярной группой нерва и трансплантатом.

В завершении хирургического вмешательства всем 56 пациентам накладывались внутрикожные косметические швы, рука фиксировалась в позиции угла 150°-180° при помощи бинтовой циркулярной повязки.

2.4 Интраоперационный нейромониторинг

ИОНМ выполнялся в нашем исследовании 38 пациентам (67,9%) на аппаратах NIM-3.0 Medtronic и Xtrec Protector 32. Всем 38 пациентам ИОНМ выполнялся по методу прямой стимуляции нерва:

- стимуляция выполнялась биполярным вилочковым или концентрическим электродом (Рисунок 13) с применением единичных повторяющихся с частотой 1Гц прямоугольных стимулов длительностью 0,2 мс силой 1-4мА.

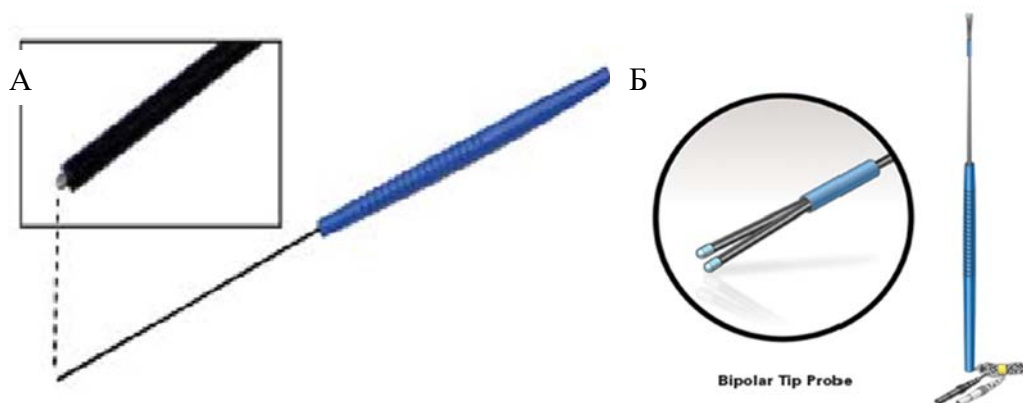


Рисунок 13 - Типы используемых биполярных стимуляторов: А – концентрический, Б – вилочковый

Регистрация М-ответа с целевых мышц выполнялась парными игольчатыми электродами. Тестовыми мышцами были выбраны М. Abductor pollicis brevis (для срединного нерва), М. Abductor digiti minimi (для локтевого нерва), М. Extensor pollicis brevis и М. Extensor carpi radialis (для лучевого) (Рисунок 14).



Рисунок 14 - Фотография расположения регистрирующих игольчатых электродов для мониторинга: А - срединного нерва, Б – локтевого нерва, В - лучевого нерва

ИОНМ выполнялся в условиях КЭТН севофлурана не ранее 40 минут применения рокурония бромида. Для исключения ложно - положительных результатов стимуляции использовался биполярный электрод и изоляция нерва от окружающих мышц. Для исключения ложно - отрицательных результатов учитывалась внутривольная фасцикулярная анатомия нерва на участке повреждения и расположение моторных фасцикулярных групп (Рисунок 15) [86].

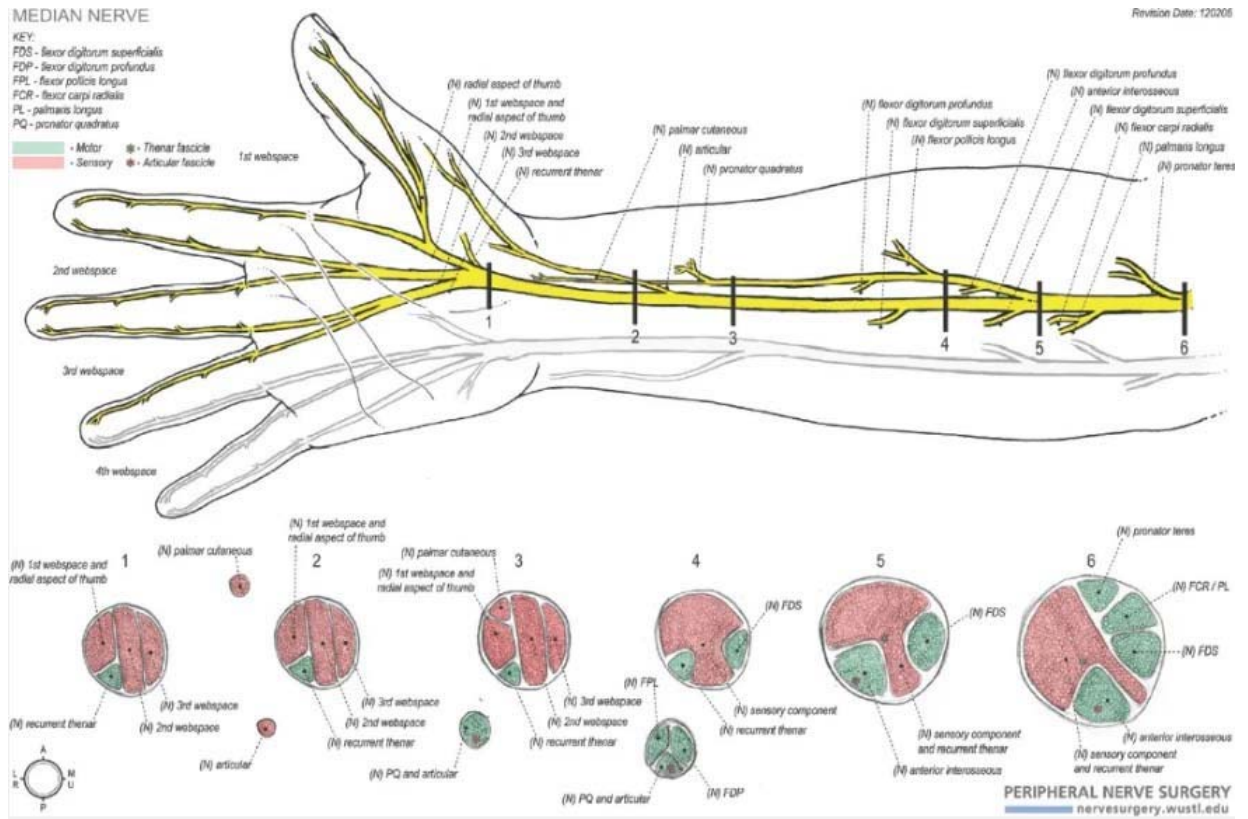


Рисунок 15 - Схематичное расположение моторных и сенсорных фасцикул срединного нерва [86]

Послеоперационный период подразумевал условную иммобилизацию локтевого сустава в циркулярной повязке на 2 недели после выписки из стационара. Средний срок продолжительности госпитализации составил 3,5 койко-дней. Средний срок прибывания в стационаре после операции составил 3 койко-дня. Ранний послеоперационный период в условиях стационара у всех пациентов протекал благополучно, с умеренным или невыраженным болевым синдромом. Для минимизации послеоперационного болевого синдрома все пациенты в вечерние получали инфузию НПВС в течении 2-3 дней. Наложение внутрикожного шва резорбируемым шовным материалом 3/0-5/0 способствовало сокращению

продолжительности пребывания в стационаре (Рисунок 16).



Рисунок 16 - Фотография послеоперационных рубцов на 2-е сутки после операции
А – на срединном нерве, Б – на срединном и локтевом нервах

При выписке родители пациентов были информированы о необходимости соблюдения охранительного режима (ограничение движений в локтевом суставе до 15°). Пациентам с нейропатией лучевого нерва рекомендовано ношение ортеза на лучезапястный сустав. По выписке также была рекомендована лечебная физкультура и массаж кисти и пальцев, физиотерапия в объеме миостимуляции целевых мышц и медикаментозная терапия. Пациенты передавались под наблюдение невролога в поликлинику по месту жительства. Родители детей возраста до 7 лет были информированы о необходимости активно использовать кисть оперированной конечности в игровом процессе.

Результаты хирургического лечения оценивались при осмотре через 3-17 месяцев (в среднем $5,6 \pm 3$ мес.). Такой широкий разброс был обусловлен разными предполагаемыми сроками восстановления, которые зависели от степени повреждения нерва, вида вмешательства и возраста (расстояние до целевых мышц). Сроки назначения осмотра для оценки результата после невролиза, эндоневролиза и невролиза с транспозицией составляли 3-5 месяцев, после микрохирургической реконструкции нерва - от 6 до 12 месяцев. Параметрами для оценки эффективности лечения были: оценка мышечной силы кисти по шкале MRC, восстановление чувствительности и регресс болевого синдрома.

Глава 3 Результаты исследования

3.1 Частота встречаемости и структура нейропатий после чрезмышечковых переломов у детей

По данным НИИ НДХиТ в период с 2018 по 2023 гг. в отделении травматологии было пролечено 1014 пациентов с чрезмышечковыми переломами плечевой кости. При оценке нейроциркуляторной симптоматики в течении первых двух суток после травматологического вмешательства у 103 пациентов выявлены признаки нейропатии (10,2%). Из них у 99 были клинические проявления нейропатии одного нерва, у четырех - двух нервов. Таким образом, у 103 пациентов была выявлена нейропатия 107 нервов. Среди всего числа случаев чаще встречалась нейропатия срединного нерва – 50 случаев (46,73%), реже лучевого нерва – 32 случаев (29,91%) и локтевого нерва – 25 случаев (23,36%).

Все пациенты с посттравматической нейропатией наблюдались неврологом и получали консервативное лечение, включающее в себя медикаментозную терапию, лечебную физическую культуру и физиолечение. В подавляющем большинстве случаев (у 81 пациента - 78,6%) отмечался регресс неврологических нарушений. У оставшихся 22 пациентов (21,4%) констатировано отсутствие положительной динамики на фоне проводимого лечения, что потребовало хирургическое лечение (Рисунок 17).

Суммарно хирургическое вмешательство по поводу посттравматической нейропатии потребовалось 21,4% пациентов из числа чрезмышечковых переломов, пролеченных в НИИ НДХиТ за указанный период времени. У оставшихся 78,6% было отмечено спонтанное восстановление в течении 3 месяцев.

Из числа всех 56 пациентов, составляющих исследование, 22-м пациента (39,3%) травматологическое пособие оказывалось в НИИ НДХиТ, остальным 34 пациентам (60,7%) помощь оказывалась в других стационарах.

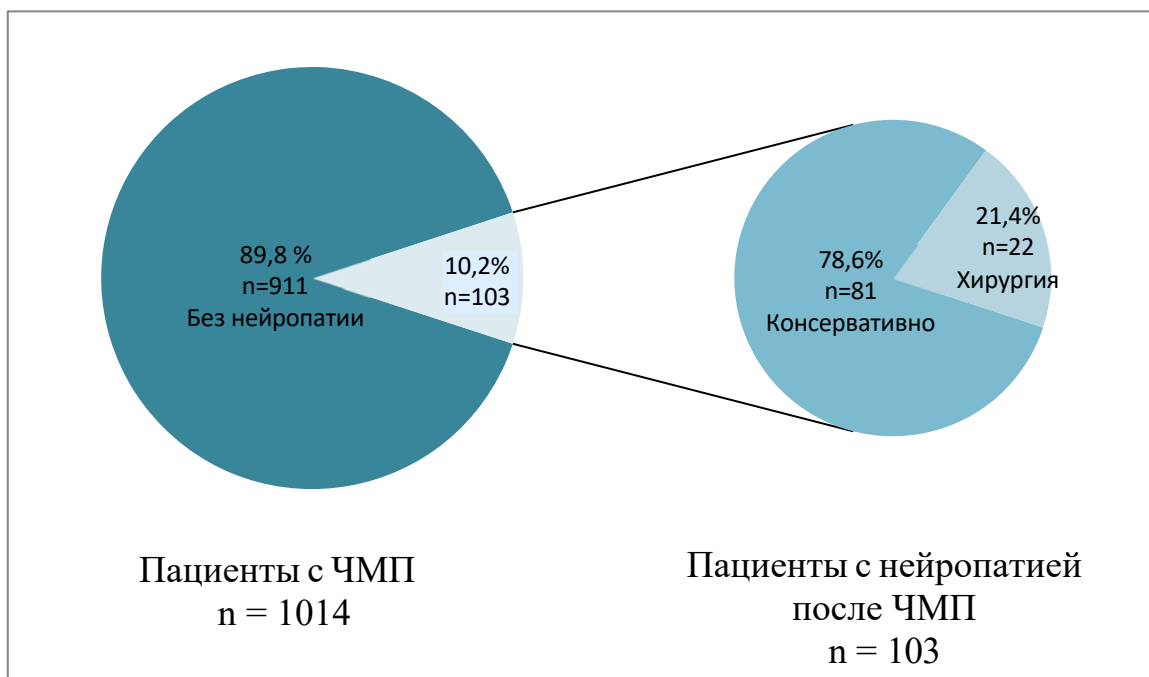


Рисунок 17 - Пациенты с нейропатией после ЧМП за 2018-2023 гг. по данным НИИ НДХиТ

При изучении риск-факторов повреждения нервов при чрезмышечковых переломах, потребовавших хирургическое лечение, установлено, что в большинстве это были дети в возрасте от 7 до 12 лет – 55% (31 пациент).

Наибольшее число составили пациенты в возрасте 8 лет (8 пациентов), 7 лет (6 пациентов) и 11 лет (5 пациентов) (Рисунок 18).

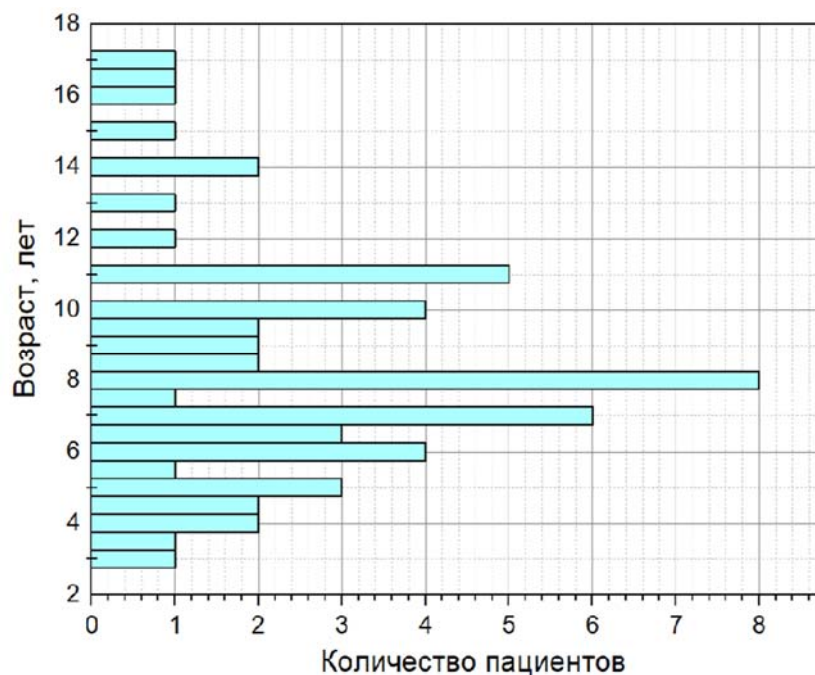


Рисунок 18 - Распределение пациентов исследования по возрастам

Основную возрастную группу в количестве 31 (55,36%) пациента составили дети с 7 до 12 лет (Рисунок 19).

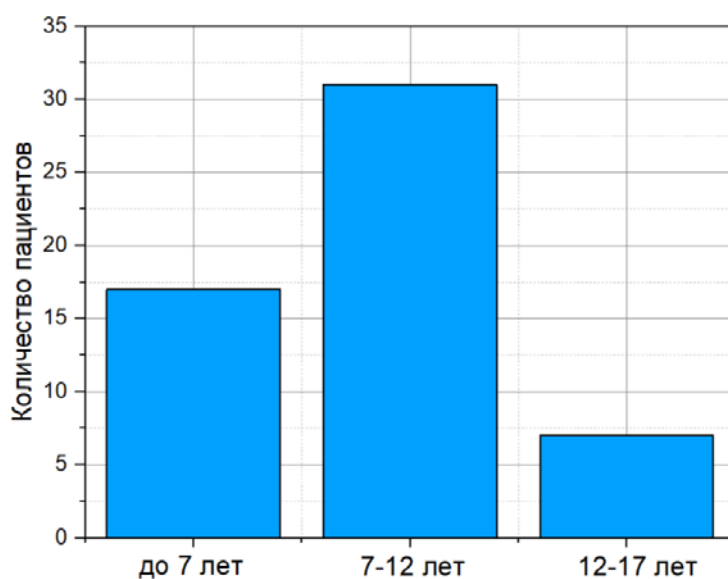


Рисунок 19 - Распределение пациентов исследования по возрастным группам

Ретроспективно механизм перелома изучен у 28 (50%) пациентов. Механизм перелома определялся на основании первичных рентгенограмм до выполненного травматологического пособия. У 22 пациентов (78,6%) имел место разгибательный перелом и только у 6 (21,4%) – сгибательный (Рисунок 20).

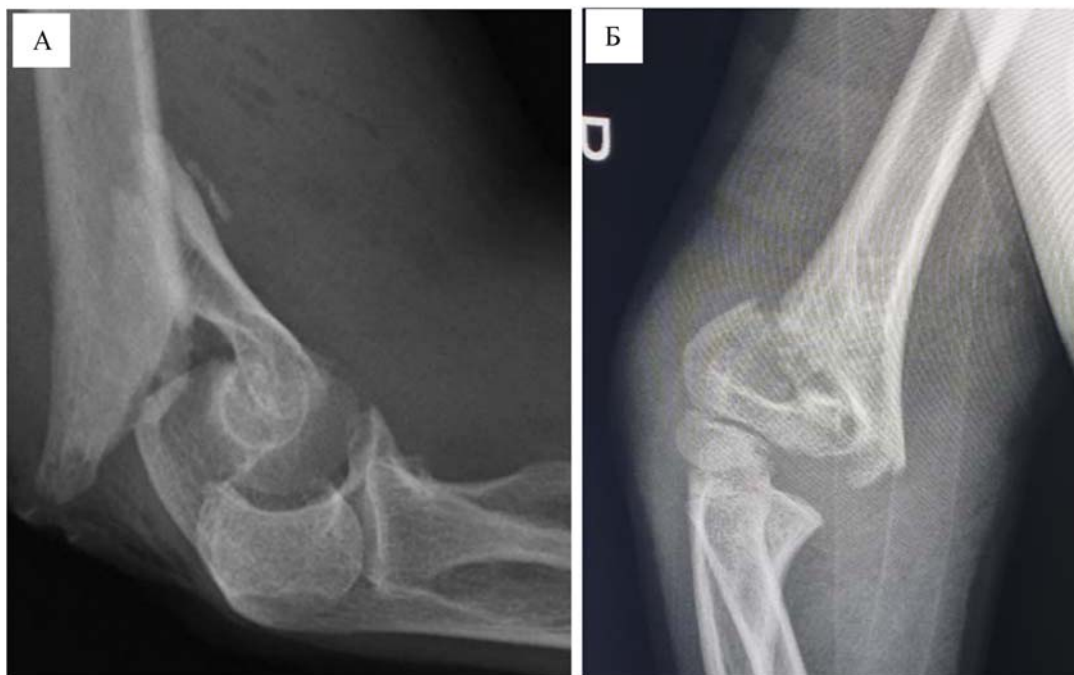


Рисунок 20 - Рентгенограммы чрезмыщелковых переломов плечевой кости: А – разгибательный механизм перелома, Б – сгибательный механизм перелома

Проанализировав интраоперационную картину повреждений нервов в разных возрастных группах, мы установили, что наиболее частая компрессия нерва рубцом встречалась во всех трех группах, и частота ее встречаемости была прямо пропорциональна возрасту пациента. В то же время, частота компрессии нерва костной мозолью была обратно пропорциональна возрасту детей. Интерпозиция нерва в перелом и частичное повреждения встречались в группах до 12 лет. В группе с 7-12 лет, где встречались все виды повреждения, компрессия рубцом составила 54,55%, все остальные виды повреждений нерва были распределены равномерно (Рисунок 21).

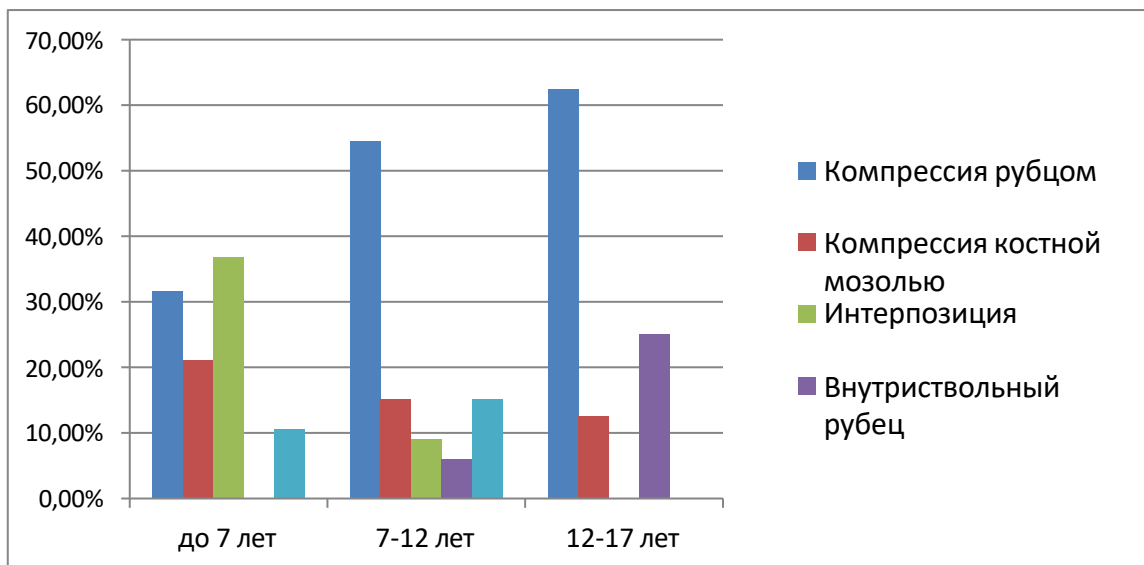


Рисунок 21 - Распределение видов повреждения нервов по возрастным группам

Мы также проанализировали распределение операций без микрохирургической реконструкции (невролиз, невролиз с транспозицией и эндоневролиз) и с микрохирургической реконструкцией (нейрорафия и аутотрансплантация) в разных возрастных группах. Существенного различия мы не обнаружили, однако доля реконструкций была несколько выше в возрастных группах до 7 лет и после 12 лет (Рисунок 22).

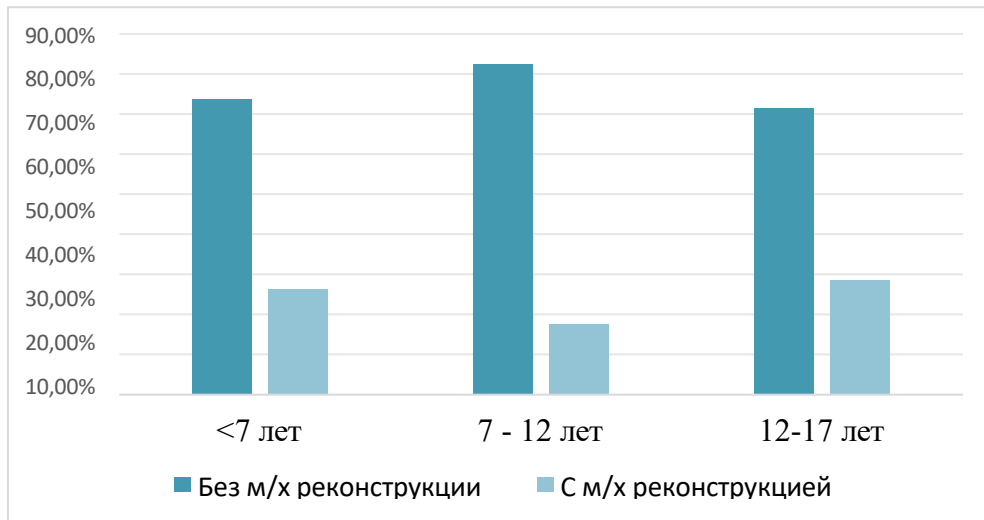


Рисунок 22 - Процентное соотношение видов операций в возрастных группах

Таким образом, при ретроспективной оценке случаев ЧМП, пролеченных в НИИ НДХиТ, было установлено, что каждый десятый случай (10,4%) осложнялся посттравматической нейропатией. Каждый пятый пациент (21,4%), наблюдаемый с посттравматической нейропатией, потребовал хирургического лечения. Из них наибольшую группу составили пациенты 7-12 лет. Эти факты оправдывают необходимость раннего выявления посттравматических нейропатий, оценки неврологической симптоматики в динамике динамическое наблюдение неврологом.

3.2 Особенности хирургического лечения

Показания к хирургическому лечению были выставлены на основании:

1. Клинических проявлений повреждения нервов;
2. Отсутствия динамики на фоне проводимой консервативной терапии и восстановительного лечения;
3. Данных ЭНМГ;
4. Данных УЗИ исследования периферических нервов.

Выставляя показания к хирургическому лечению, мы учитывали относительно быструю атрофию мышц кисти, приводящую к контрактуре в кисти и пальцах. Учитывалось также снижение качества жизни пациентов при ослаблении кистевого хвата и мелкой моторики.

По результатам ЭНМГ, выполненного 56 пациентам по 60 нервам (100%), было выявлено: 6 случаев грубой демиелинизации (10%), 35 случаев аксонального поражения (58,33%), 19 случаев невралгического поражения (31,67%). У 7-ми пациентов (11,67%) по результатам стимуляционной ЭНМГ был выявлен анастомоз Рише-Канью срединного и локтевого нервов на уровне запястья. Выявление этого анастомоза важно, так как его наличие имитирует наличие проводимости по срединному нерву и создает ложное впечатление о восстановлении функции.

По данным игольчатой ЭМГ из 32 (57,14%) исследований у 2-х пациентов выявлено рекрутирование ПДЕ, у 30 пациентов при отсутствии рекрутирования ПДЕ выявлена денервационная спонтанная активность (положительные острые волны и потенциал фибрилляции).

По итогу ЭНМГ у 90 % пациентов полностью отсутствовала проводимость по исследуемым нервам.

По данным УЗИ выявлены следующие признаки травмы ствола нерва: в 24 (40%) из 60 случаев имела место компрессия нерва рубцовой тканью, в 11 (18,3%) – внутривольные изменения (гиперэхогенный, гипоехогенный локус, нарушение внутривольной дифференцировки), в 10 (16,7%) – компрессия нерва костной мозолью, в 3-х (5%) – интерпозиция нерва в перелом и еще в 12-ти (20%) – визуализация нерва на уровне травмы была затруднена (достоверно вид повреждения не установлен) (Таблица 4).

Таблица 4 - Признаки посттравматической нейропатии по данным УЗИ

Компрессия рубцами	Компрессия костной мозолью	Внутривольные изменения	Интерпозиция в перелом	Затруднение визуализации
24 (40%)	10 (16,7%)	11 (18,3%)	3 (5%)	12 (20%)

В ходе ревизии 60 нервных стволов были выявлены: рубцовая компрессия ствола нерва в 29 случаях (48,3%) (Рисунок 23); компрессия костной мозолью - в 10 (16,7%) (Рисунок 24); интерпозиция ствола нерва в перелом - в 10 (16,7%) (Рисунок 25); деформация ствола на протяжении - в 11 (18,3%) (Рисунок 26).

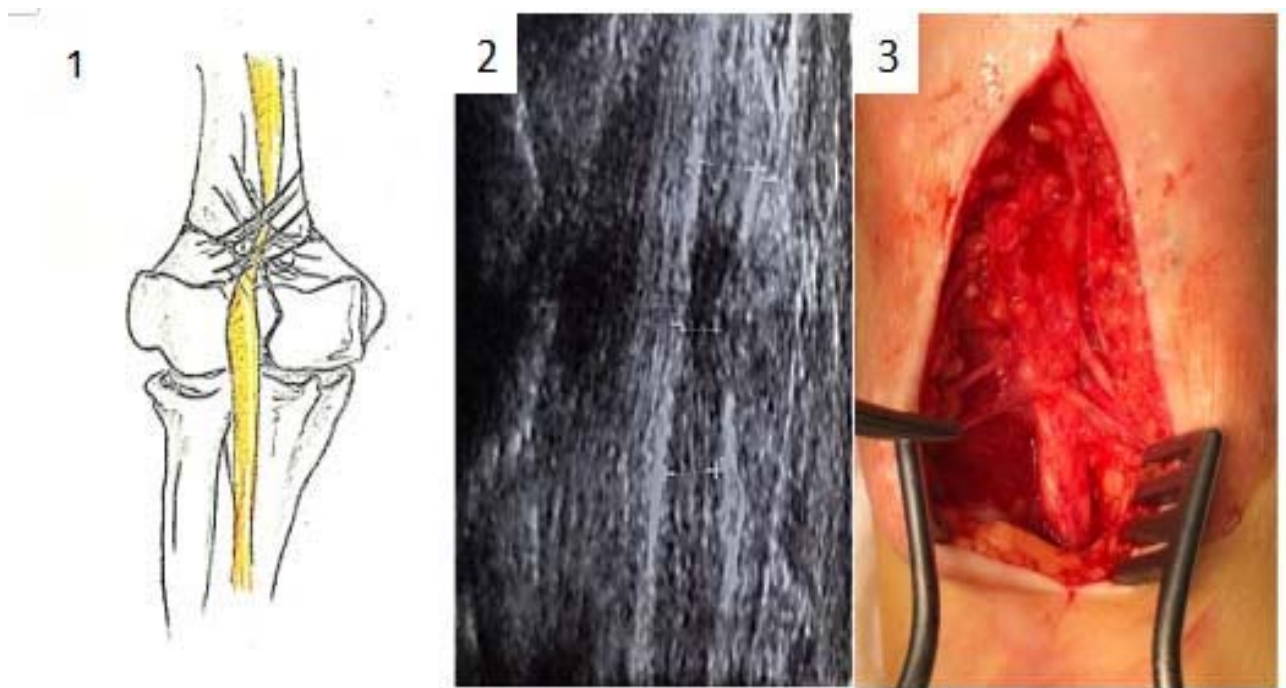


Рисунок 23 - Компрессия нерва рубцами: 1–схема, 2–УЗИ, 3–операционная фотография

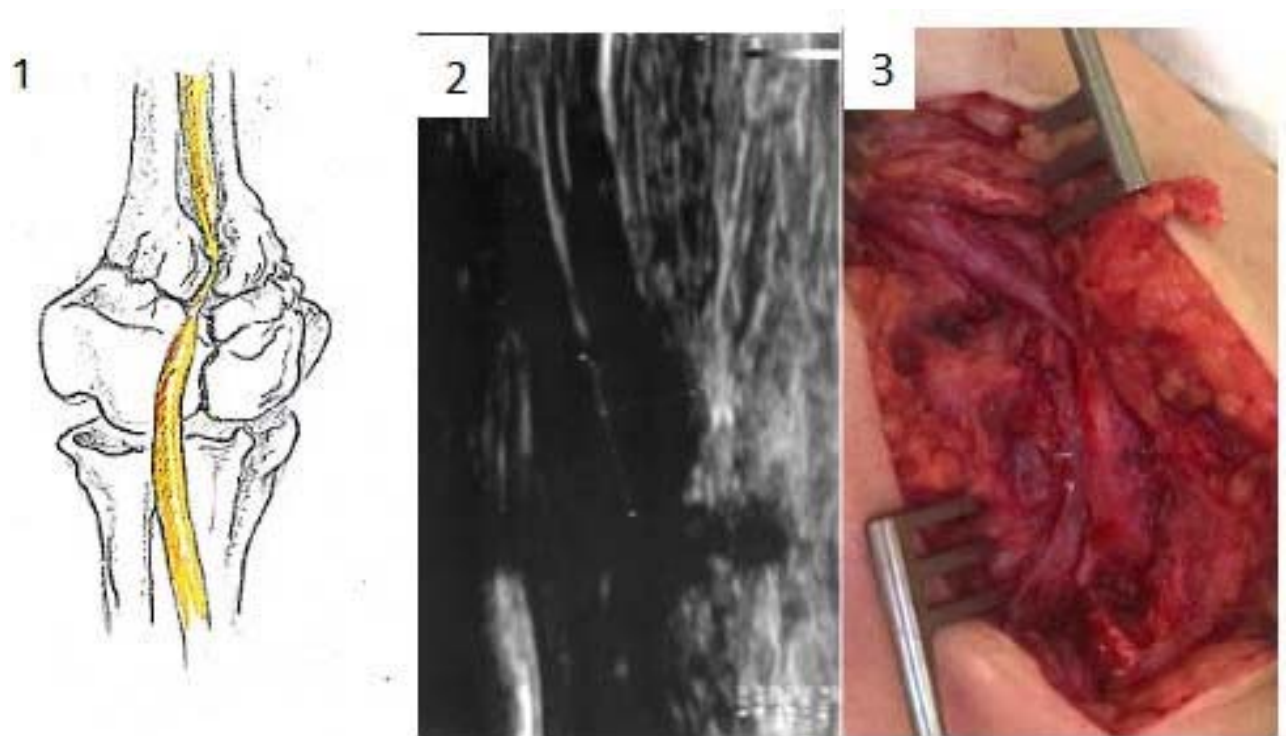


Рисунок 24 - Компрессия нерва костной мозолью: 1–схема, 2–УЗИ, 3–операционная фотография

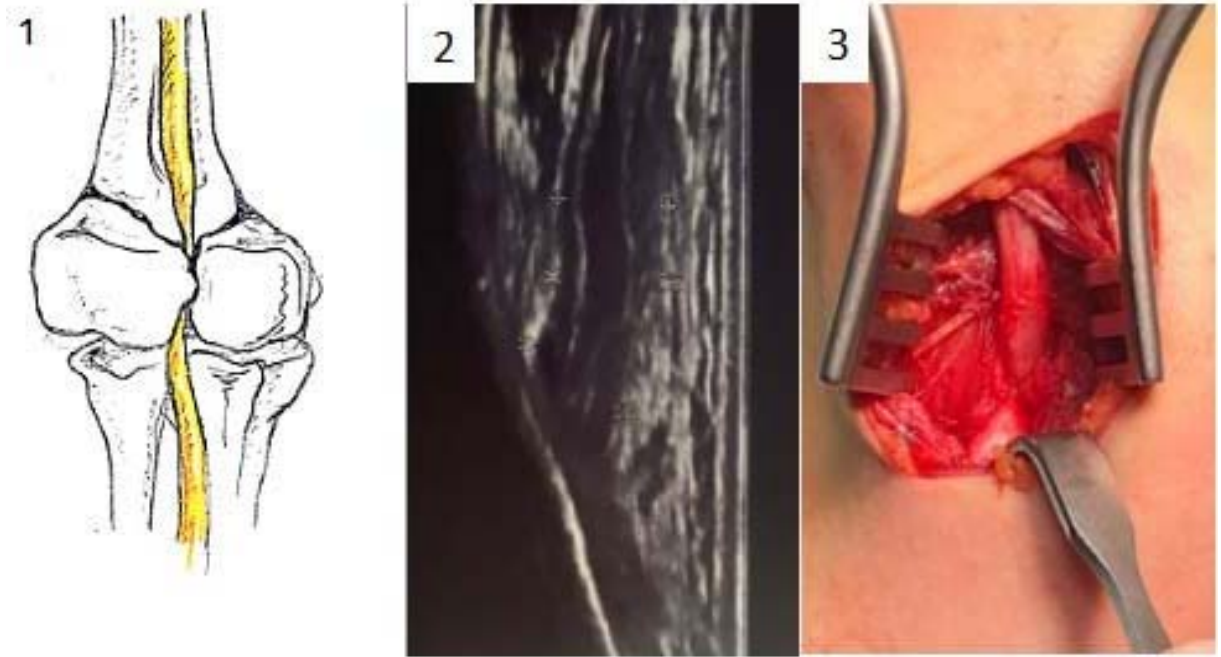


Рисунок 25 - Интерпозиция нерва в перелом: 1—схема, 2—УЗИ, 3—операционная фотография

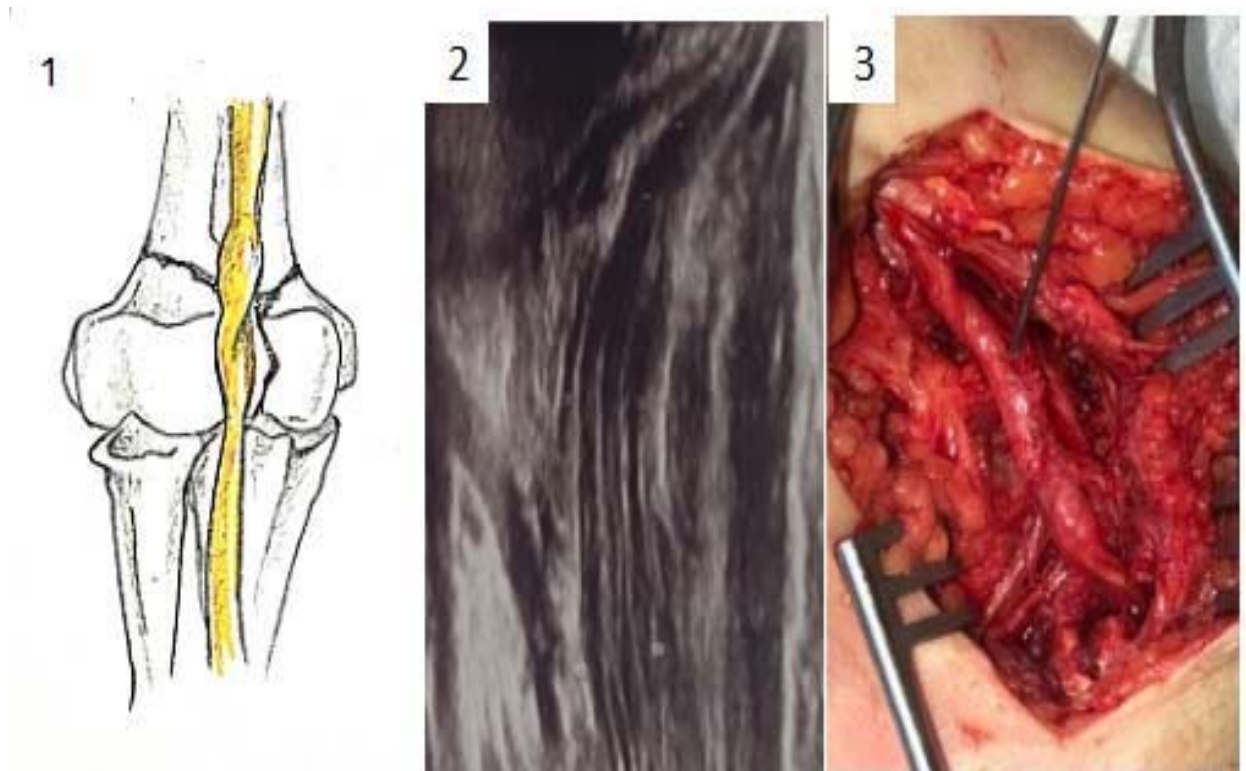


Рисунок 26 - Деформация ствола: 1—схема, 2—УЗИ, 3—операционная фотография

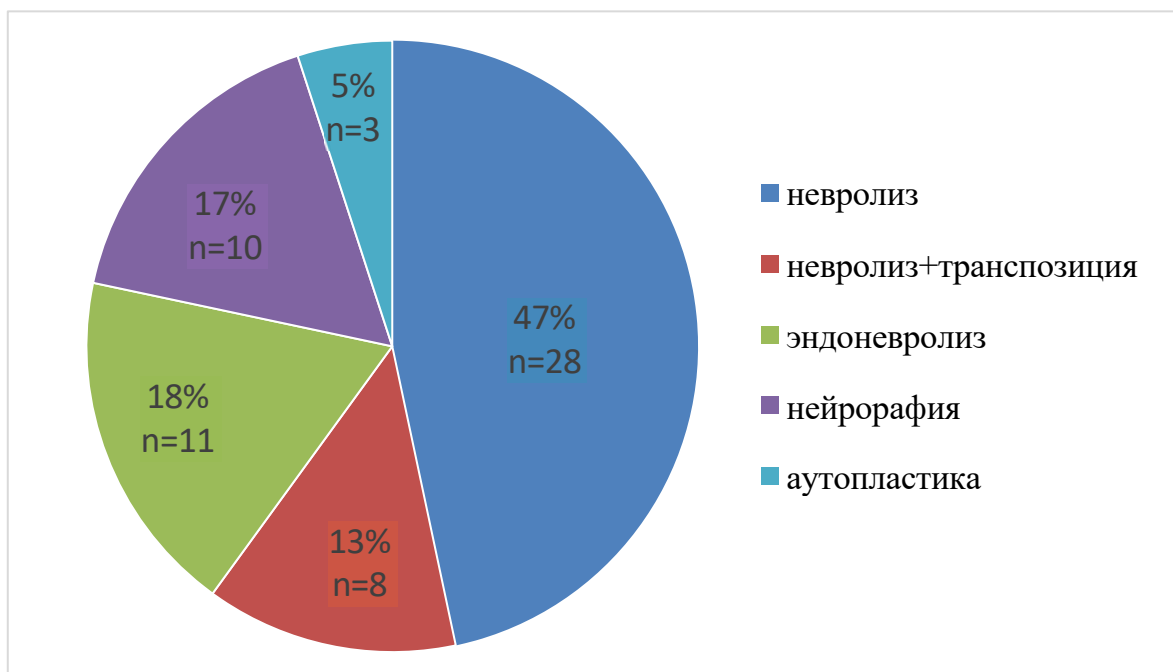


Рисунок 27 - Количественное и процентное соотношение видов операции

Хирургический доступ к срединному и лучевому нервам осуществлялся проекционно стволу на уровне нижней трети плеча с заходом на локтевой сгиб. При этом лучевой нерв прослеживался до уровня бифуркации на поверхностную и глубокую ветви, а срединный нерв - до отхождения переднего межкостного нерва. Доступ к локтевому нерву выбирался в зависимости от объема хирургии: прямой миниинвазивный в проекции входа в кубитальный канал на нижней трети плеча или расширенный с заходом на медиальную поверхность локтевого сгиба при необходимости выполнения транспозиции и нейрорафии.

Невролиз

Невролиз (Рисунок 28) был выполнен в 28 (46,7%) случаях, из них: срединного нерва - 4 операций, локтевого нерва - 19, лучевого - 5.

Предоперационными показаниями к невролизу являлись электрофизиологические признаки грубой демиелинизации или аксонального поражения на фоне УЗ-картины рубцовой компрессии ствола.

Невролиз срединного и лучевого нервов выполнялся из проекционного доступа с продолжением на локтевой сгиб. В ходе вмешательства осуществлялось устранение причин компрессии (рубцовой ткани, спаек и элементов костной

мозоли). При невролизе срединного нерва учитывалась вариантная анатомия переднего межкостного нерва - высокое его отхождение (2 случая). Во всех 6 случаях был применен ИОНМ. Полученные при прямой стимуляции нерва М-ответ с М. Thenory или сокращение мышц предплечья и кисти являлись одними из признаков целостности ствола и свидетельствовали об эффективности невролиза.

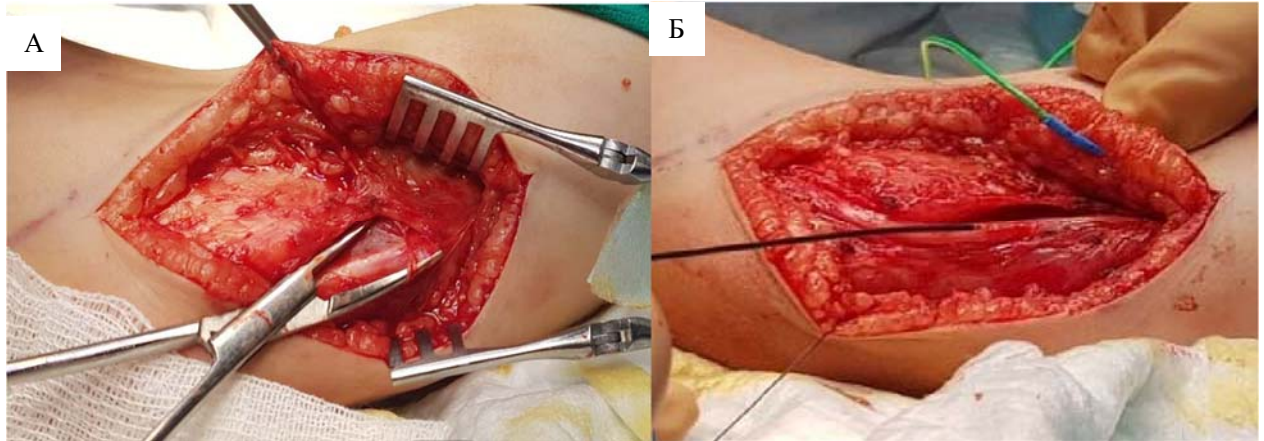


Рисунок 28 - Операционная фотография. Невролиз. А – Этап невролиза срединного нерва Б – Прямая стимуляция нерва после декомпрессии

При невролизе лучевого нерва обязательным условием была визуализация бифуркации лучевого нерва и функциональная оценка его поверхностной и глубокой ветвей. Во всех пяти случаях мы применяли ИОНМ.

В 2-х случаях М-ответы были получены только с М. Brachioradialis. В одном случае - только с М. Extensor pollicis brevis. У 4-го пациента ответы были получены с мышц иннервируемых и поверхностной и глубокой ветвями.

При невролизе локтевого нерва доступ к стволу осуществлялся из поперечного разреза длиной 2-3 см в нижней трети плеча на уровне входа в кубитальный канал. При этом методе выход на ствол локтевого нерва осуществлялся дистальнее аркады Струзера, далее, при помощи диссекции, подкожно, формировался тоннель над кубитальной связкой. Связка рассекалась ножницами, вместе с рубцовой тканью и спайками по ходу ствола локтевого нерва. Тракции крыши мягкотканого туннеля во всех случаях было достаточно, чтобы проследить нерв до входа под связку Осборна. При наличии компрессии на этом уровне связка рассекалась. Визуализация локтевого нерва выполнялась в

бинокулярной лупе с увеличением $\times 3,5$, тангенциально ходу ствола с оценкой качества декомпрессии. Визуализация была достаточной для оценки состояния ствола нерва, верификации ветви к локтевому суставу и тщательному гемостазу по итогу невролиза.

При невролизе и декомпрессии локтевого нерва избегалась его протяженная мобилизация, как риск-фактора подвывиха нерва из кубитального канала. Во всех случаях учитывалась не только компрессия ствола, но и его фиксация спайками к дну тоннеля при сгибательных-разгибательных пробах. Интраоперационными критериями прогнозируемой эффективности выбранного метода выступили: отсутствие внутривольных изменений (невромы и локальных внутривольных рубцы) и электрофизиологическая реактивность при прямой стимуляции (ИОНМ применялся на 16 из 19 операций).

Невролиз с транспозицией

Невролиз с транспозицией выполнялся пациентам с поражением локтевого нерва и посттравматической деформацией кубитального канала («мелкий» канал с множеством рубцов, остеофиты по ходу канала) и деформацией медиального мышцелка. Невролиз с транспозицией выполнялся в 8 (13,3%) случаях при посттравматической компрессии локтевого нерва (Рисунок 29).

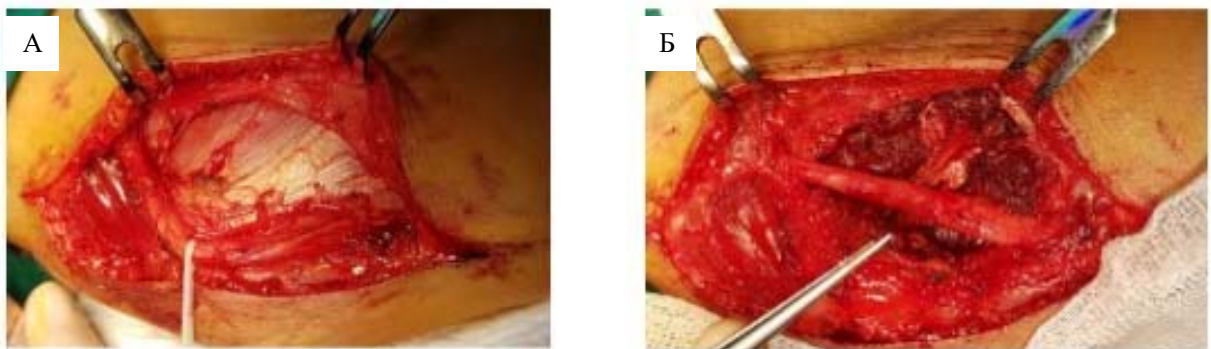


Рисунок 29 - Операционная фотография. Транспозиция локтевого нерва. А – Локтевой нерв после невролиза. Б – Этап транспозиции

Непроекциионный доступ с заходом на медиальный мышцелок позволял выполнить декомпрессию локтевого нерва, мобилизацию ствола и ветви к локтевому суставу с последующей субфасциальной транспозицией на медиальную поверхность локтевого сгиба. При выполнении транспозиции отдельное внимание

уделялось сохранению моторной ветви к М. Flexor carpi ulnaris и сенсорной ветви к локтевому суставу. Целью транспозиции были предотвращение: 1- вторичной рубцовой компрессии в условиях травматической деформации кубитального канала 2- хронической травматизации ствола при контакте с элементами костной мозоли и остеофитами. Дополнительным показанием к транспозиции являлся положительный сгибательный тест, при котором после неврелиза и декомпрессии локтевой нерв вывихивался из канала. При выборе транспозиции предпочтение отдавалось субфасциальной (межмышечной), как оптимальному методу достаточно глубокого перемещения нерва в неизмененные ткани, избегая затрагивания глубоких мышц и связок, травмированных при ЧМП.

Эндоневролиз

Эндоневролиз являлся методом выбора метода хирургического лечения при локальном изменении ствола нерва на УЗИ (отек, истончение, отсутствие васкуляризации эпинеурия на участке повреждения) и при наличии пальпаторных признаков изменения внутривольной структуры.

Эндоневролиз был выполнен 11 (18,33%) пациентам: 8 - с поражением срединного нерва, 2 - с поражением локтевого нерва и 1 - с поражением лучевого.

Дооперационное ультразвуковое подтверждение внутривольной компрессии было выявлено только у 6 (54,6%) пациентов. Все 11 пациентов оперированы с применением ИОНМ, в ходе которого М-ответы получены у 8 из них.

Микрохирургическая реконструкция нерва

Микрохирургическая реконструкция нерва (нейрорафия и аутооттрансплантация) выполнялась 13 (21,7%) пациентам в ситуациях:

- 1) полной интерпозиции ствола (или ветви) в перелом;
- 2) локального внутривольного рубца нерва (деформация на протяжении) или участка его размозжения (Рисунок 30).



Рисунок 30 - Операционная фотография внутривольных изменений ствола срединного нерва

Обе указанные ситуации, подтвержденные отсутствием М-ответа при прямой стимуляции ствола нерва, подразумевали резекцию измененного участка с выполнением микрохирургической реконструкции нерва.

Нейрорафия

Нейрорафия нами была выполнена в 10 (16,7%) из 60 случаев: 3 операции - при обнаружении частичного повреждения ствола нерва, 1 - при компрессии рубцом, и 6 операций - при интерпозиции нерва в перелом (Рисунок 31).

Выполнение нейрорафии срединного нерва потребовалось в 7 случаях. Нейрорафия лучевого нерва была выполнена в 2 случаях (общего ствола - 1 и глубокой ветви - 1).

Нейрорафия локтевого нерва выполнена в одном случае: по поводу внутривольного рубца ствола. Первоначально подразумевалось выполнение аутотрансплантации (ввиду наличия диастаза после обработки концов нерва), однако комбинация с передней субфасциальной транспозицией позволила сократить диастаз и ограничиться нейрорафией без натяжения.

Принимая во внимание анатомическую область травмы (локтевой сустав) и риски натяжения, показания к нейрорафии в нашем исследовании были ограничены.

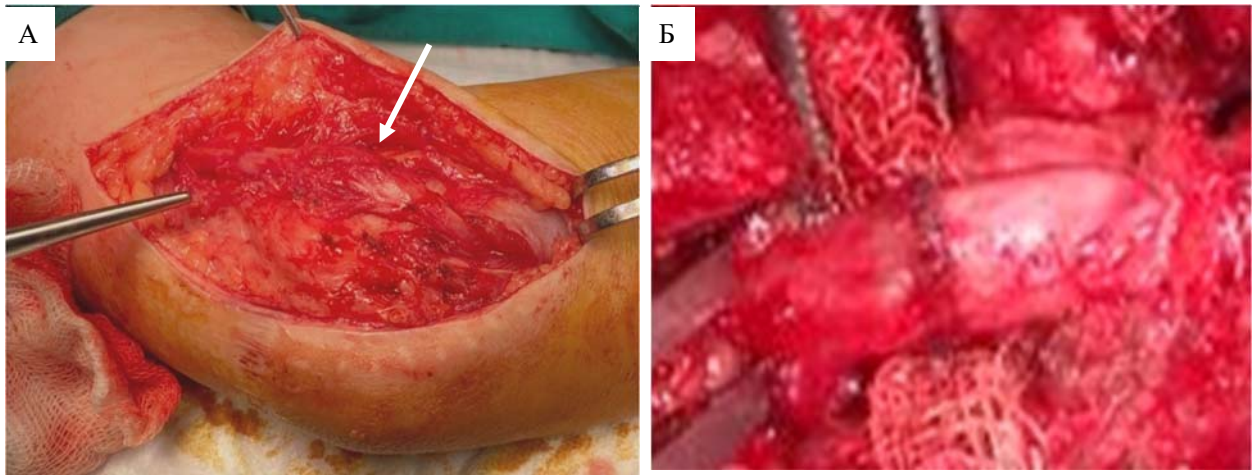


Рисунок 31 - Операционная фотография. Нейрорафия:
А – Деформация на протяжении; Б - Нейрорафия

Аутотрансплантация

Аутотрансплантация выполнялась в условиях необходимости восполнения диастаза нервной ткани.

В нашем исследовании 3 случая (5%) потребовали аутотрансплантации: 2 - интерпозиции в перелом (срединный и лучевой) и 1 - внутривольный рубец срединного нерва.

В случае с пациентом с внутривольным рубцов срединного нерва (диастаз 4 см.) выполнялась аутотрансплантация участка ствола 6 вставками (Рисунок 32).

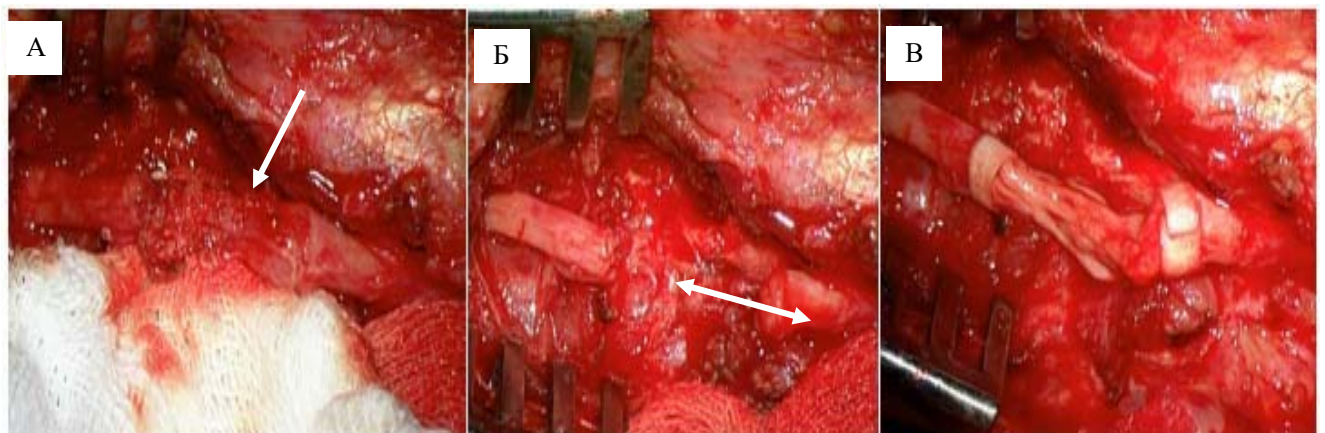


Рисунок 32 - Операционная фотография. Аутотрансплантация: А - Участок внутривольного повреждения; Б - Диастаз после иссечения; В - Результат аутотрансплантации

Пациент с интерпозицией срединного нерва в перелом (диастаз 4,5 см.) потребовал аутотрансплантации участка общего ствола и отходящего переднего

межкостного нерва (Рисунок 33).

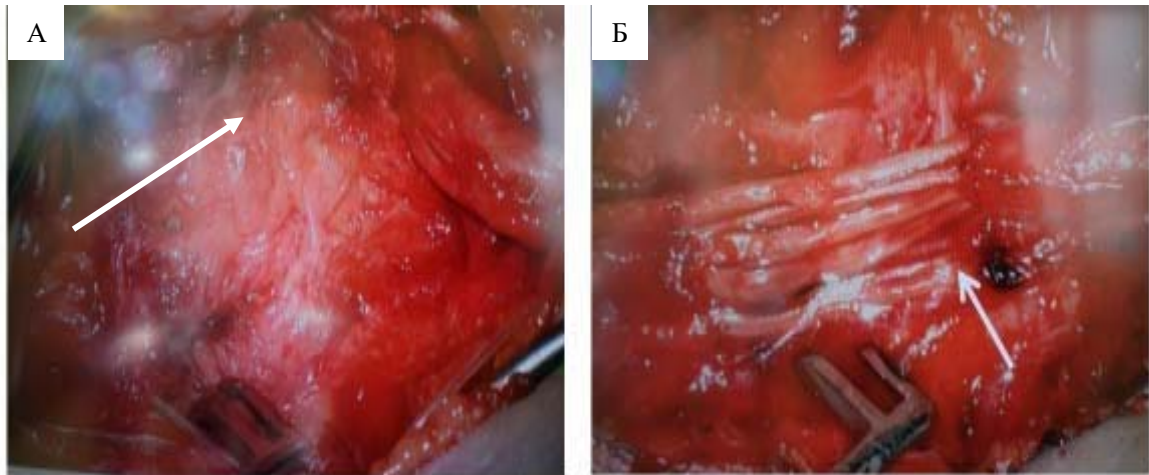


Рисунок 33 - Операционная фотография: А- интерпозиция срединного нерва в перелом; Б -ауто трансплантация срединного нерва

Пациенту с интерпозицией в перелом лучевого нерва потребовалась его реконструкция на уровне бифуркации. Диастаз между основным стволом и ветвями составил 5,5 см. Была выполнена ауто трансплантация 8 фрагментов икроножного нерва (по 4 фрагмента на поверхностную и глубокую ветвь соответственно), что потребовало забора икроножного нерва с обеих нижних конечностей пациента (Рисунок 34).

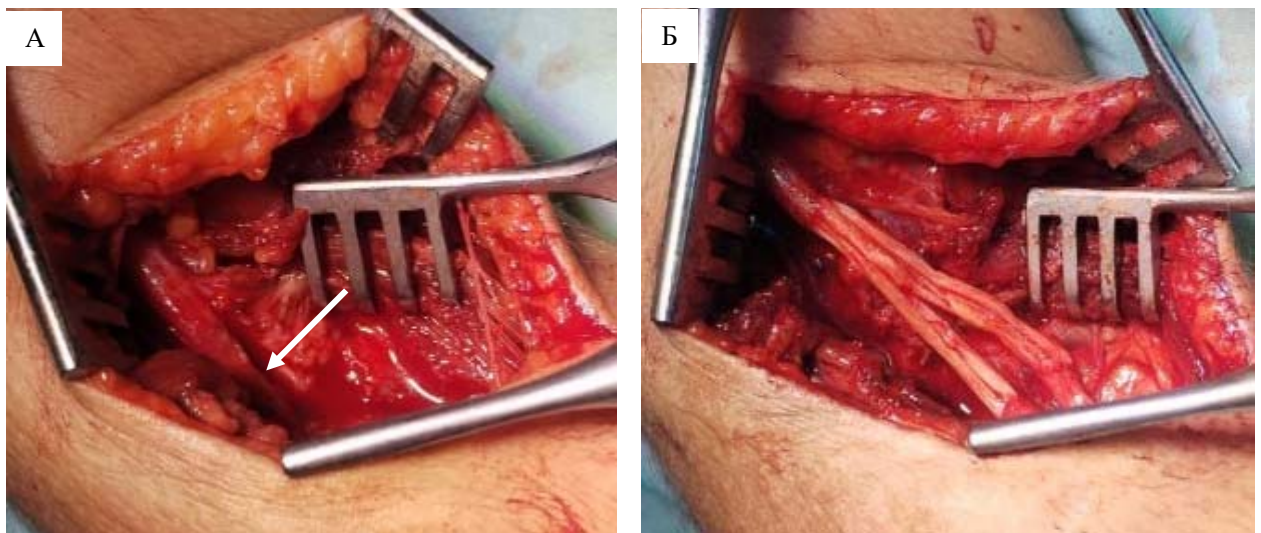


Рисунок 34 - Операционная фотография лучевого нерва на уровне бифуркации: А - диастаз между общим стволом и ветвями; Б - ауто трансплантация бифуркации

В случаях 13 случаях, где потребовалась микрохирургическая реконструкция, чаще причиной была интерпозиция в перелом (n=8), реже –

внутриствольные изменения (n=4) и только в одном – грубая компрессия рубцом.

Чаще интерпозиции в перелом подвергался срединный нерв. Его травма потребовала микрохирургической реконструкции в 6 случаях. Оставшиеся 2 случая интерпозиции в перелом, потребовали микрохирургической реконструкции относились к лучевому нерву (Рисунок 35).

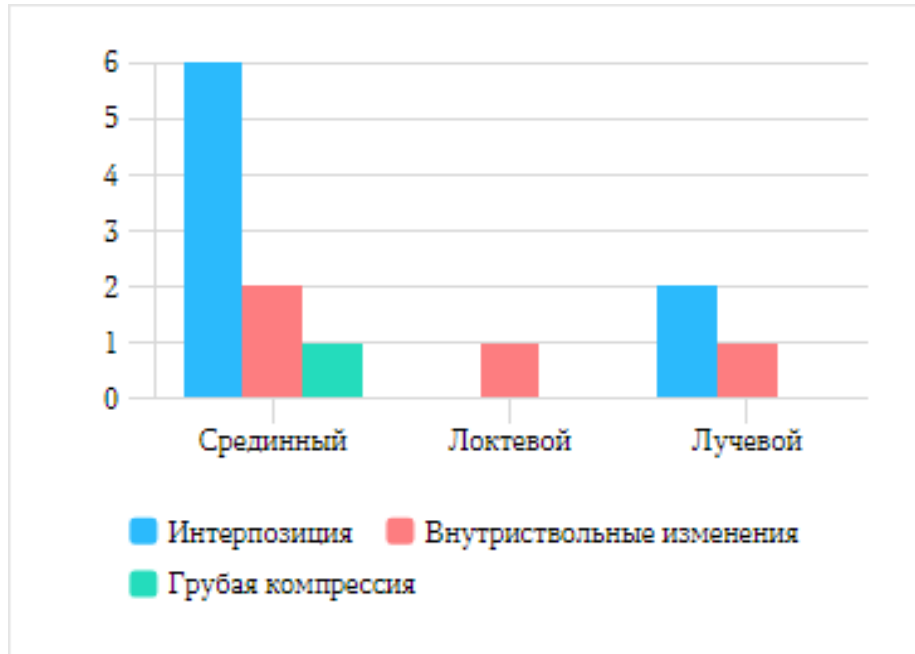


Рисунок 35 - Распределение реконструкций нерва по видам нервов

При внутриствольных изменениях (n=4), на микрохирургическая реконструкция срединного нерва выполнялась в двух случаях, и по одному случаю приходилось на лучевой и локтевой нервы.

В случае грубой компрессии рубцом микрохирургическая реконструкция выполнялась при травме срединного нерва.

Пациентам с сочетанным поражением срединного и локтевого нервов (n=4) вмешательства выполнялись в ходе одной операции на двух стволах: одному пациенту выполнялись невролиз срединного и локтевого нервов, одному - транспозиция локтевого нерва и нейрорафия срединного нерва, двум - невролиз локтевого нерва и нейрорафия срединного. Количественное соотношение вида повреждений нервов и вида операции представлено в таблице 6 и на рисунке 36.

Таблица 6 - Количественное соотношение вида повреждений нервов и вида операции

	Компрессия рубцом	Компрессия мозолью	Интерпозиция	Внутриствольные изменения (деформация)	Внутриствольный рубец
Невролиз	21	6	0	0	1
Невролиз с транспозицией	4	3	1	0	0
Эндоневролиз	3	1	1	0	6
Нейрорафия	1	0	6	3	0
Аутоотрасплантация	0	0	2	1	0

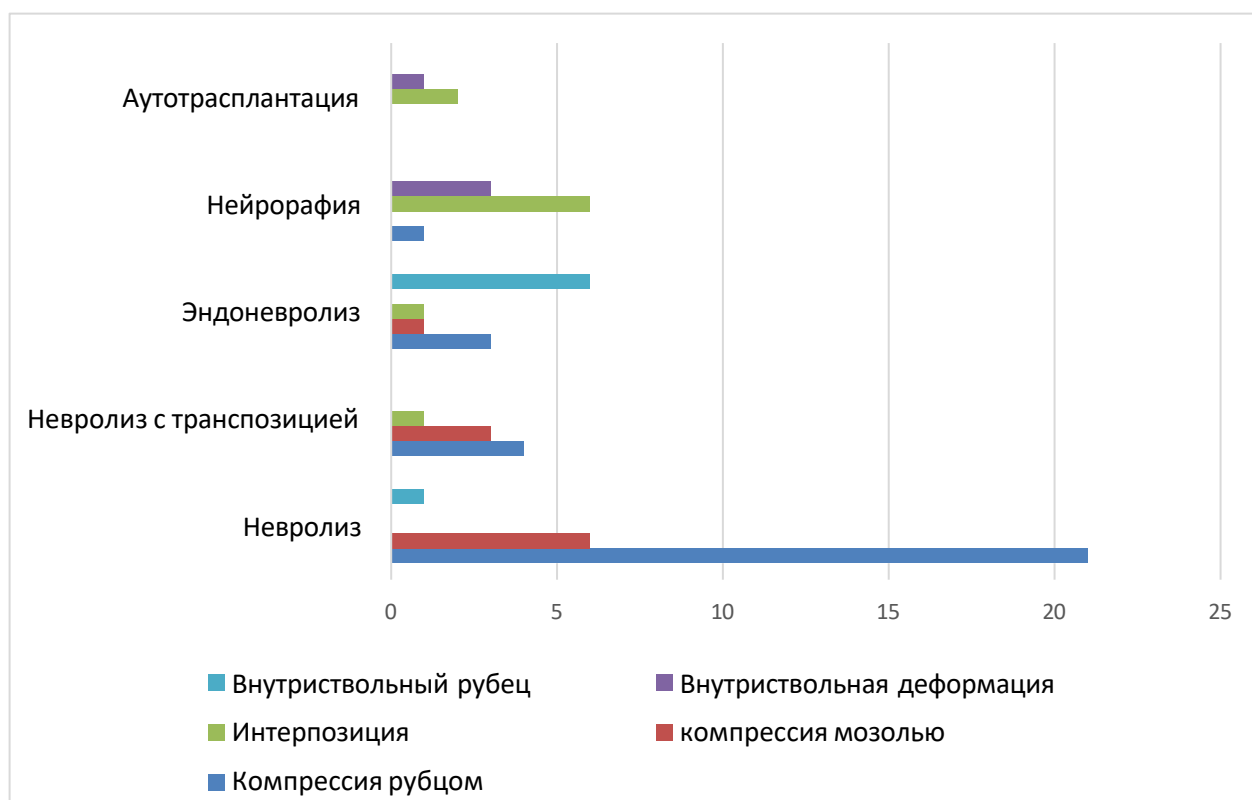


Рисунок 36 - Соотношение повреждений нерва и видов операций

В нашем исследовании предоперационное планирование выполнялось на основании результатов УЗИ только в 46% случаев. Запланированная хирургическая тактика может быть изменена исходя из интраоперационных находок. Выбор вида хирургического вмешательства основывался на операционной картине повреждения нерва, а в ряде случаев, на сопоставлении с данными

интраоперационной нейрофизиологии.

3.3 Роль интраоперационного нейромониторинга

В нашем исследовании 18 вмешательств выполнялись без ИОНМ. В их число вошли 16 операций, где структурная целостность нерва не вызывала сомнений (11 невролизом и 5 невролизом с транспозицией) и 2 операции, где была явная необходимость микрохирургической реконструкции нерва (1нейрорафия и 1 аутотрансплантация).

ИОНМ выполнялся 38 (67,9%) из 54 пациентов. Из 60 операций 42 (70%) были выполнены с применением ИОНМ. Эту группу составили случаи, где были подозрения на внутриневральные повреждения и необратимую ишемию участка нерва в результате длительной компрессии. Пациентам выполнялась прямая стимуляция нерва на этапе полной визуализации нерва на участке предполагаемого повреждения. По результатам стимуляции М-ответ зарегистрирован в 27 случаях (64,3%), в 15 случаях (35,7%) М-ответ не зарегистрирован (Рисунок 37).

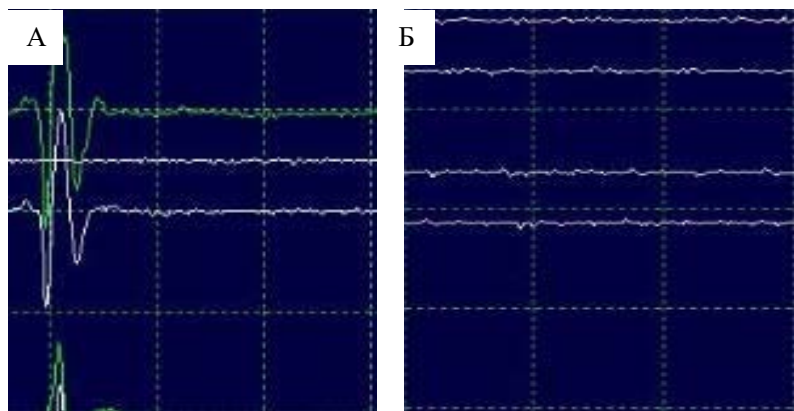


Рисунок 37 - Интерпретация прямой стимуляции нерва:
А - М-ответ зарегистрирован, Б – М-ответ не зарегистрирован

Зарегистрированный с мышц кисти М-ответ при стимуляции нерва на уровне локтевого сустава указывало на сохранение проведения по моторным фасцикулам нерва.

Отсутствие М-ответа с мышц кисти свидетельствовало об отсутствии проведения по моторным фасцикулам на сегменте «локтевой сустав-мышцы кисти». При этом в ряде случаев были получены сокращения с мышц области

предплечья (круглый и квадратный пронаторы, супинатор предплечья, лучевой и локтевой сгибатели запястья).

В ходе выполненных операций с применением ИОНМ при компрессии нерва рубцом М-ответ был получен в 12 (70,59%) из 17 случаев, при компрессии костной мозолью – в 4 из 6, при интерпозиции нерва в перелом – в 7 из 9 случаев, при частичном повреждении нерва – в 2 из 4 случаев и при внутривольном рубце – в 2 из 6 случаев.

М-ответ при стимуляции статистически достоверно ($p < 0,05$) был зарегистрирован в группе операций, составляющую компрессию нерва рубцом, костной мозолью и интерпозицией нерва в перелом (Таблица 7).

Таблица 7 - Результаты прямой стимуляции нерва в зависимости от повреждения

ИОНМ	Компрессия		Интерпозиция	Внутривольные	
	рубцом	мозолью		изменения (деформация)	рубец
М+	12	4	7	2	2
М-	5	2	2	2	4
Всего	17	6	9	4	6

М-ответ при стимуляции статистически достоверно воспроизводился в группе операций, составивших невролиз, невролиз с транспозицией и эндоневролиз ($n=31$) и отсутствовал в группе, составивших микрохирургическую реконструкцию ($n=11$) ($p < 0,05$, Monte Carlo $p=0,0001$) (Таблица 8).

Единичный случай с внутривольным изменением (деформацией) срединного нерва и зарегистрированным М-ответом привел к необходимости нейрорафии по причине явного наличия внутривольной невromы, неустранение которой привело бы к сохранению симптоматики (нейропатического болевого синдрома).

Таблица 8 - Результаты прямой стимуляции нерва при разных видах операций

	Группа 1			Группа 2	
ИОНМ	Невролиз	Невролиз с транспозицией	Эндо невролиз	Нейрорафия	Аутотранс плантация
М+	16	1	9	1	0
М-	1	2	2	8	2
Всего	17	3	11	9	2

В ходе анализа данных мы разделили все операции на две группы: операции без реконструкции нерва (Группа 1) и операции с микрохирургической реконструкцией (Группа 2). Первую группу составили невролиз, невролиз с транспозицией и эндоневролиз (26 операций). В этой группе при мониторинге в ходе 26 операций был зарегистрирован М-ответ, при 4-х операций М-ответ не был получен (Рисунок 38).



Рисунок 38 - Отображение кривых при прямой стимуляции нерва 1 – М-ответ зарегистрирован 2- М-ответ не зарегистрирован

В 26 операциях, когда регистрировался М-ответ, при повторной стимуляции после устранения факторов компрессии в 7-ми случаях был отмечен прирост амплитуды М-ответа (Рисунок 39).

В 4-х операциях, когда М-ответ не получен в двух случаях (1 - невролиз и 1-эндоневролиз) после устранения факторов компрессии при повторной стимуляции был зарегистрирован низкоамплитудный М-ответ.

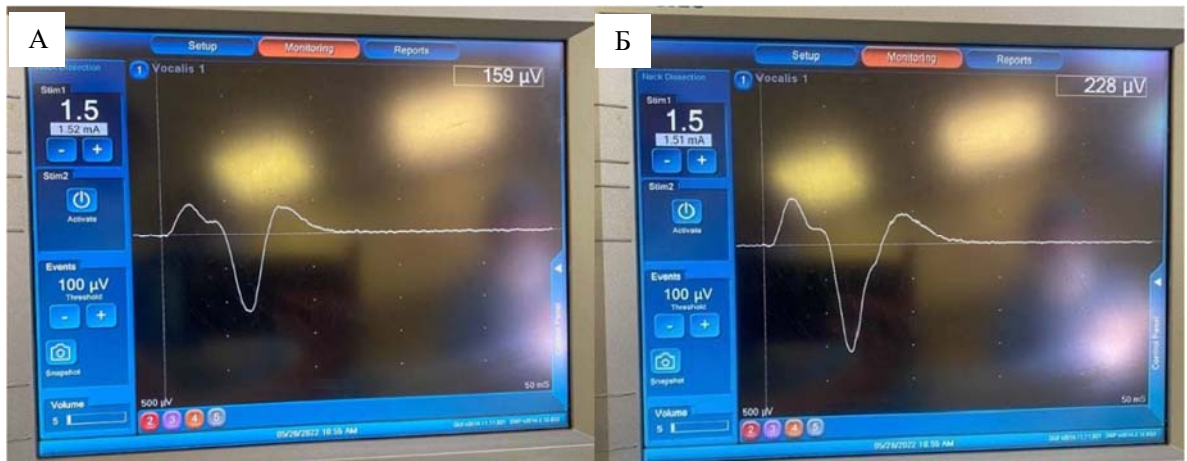


Рисунок 39 - Прирост амплитуды М-ответа: $\Delta=69 \mu V$
 А – М-ответ после этапа неврелиза ($159\mu V$); Б – М-ответ после этапа эндоневрелиза ($228\mu V$)

Прирост амплитуды М-ответа в конце вмешательства расценивался как предиктор успешной декомпрессии нерва.

Среди 42 операций, выполненных под интраоперационным нейромониторингом, мы выделили 8 (19%), в ходе которых результаты прямой стимуляции принципиально изменили предполагаемую хирургическую тактику (Таблица 9):

- Один случай длительной компрессией срединного нерва рубцом, после декомпрессии которого были обнаружены внутривольные изменения. Предполагаемый объем вмешательства был неврелиз. Но отсутствие М-ответа при стимуляции нерва на 4мА в совокупности с картиной повреждения привел к резекции 0,5 см. нерва и выполнению нейрорафии.

- Шесть случаев с однотипными внутривольными изменениями нервов по типу рубцовой деформации ствола на протяжении (2 локтевых, 3 срединных, один лучевой), которым предполагалась микрохирургическая реконструкция. После вскрытия эпинеурия была проведена прямая стимуляция фасцикул на силе тока 2-4 мА, были пролучены М-ответы с целевых мышц, что оправданно ограничило объем вмешательства эндоневрелизом.

- Один случай интерпозиции срединного нерва в перелом, при стимуляции которого на 4мА были получены видимые сокращения в области предплечья.

Предполагалась аутотрансплантация, однако после частичной резекции мозоли и выполненного эндоневролиза были получены низкоамплитудные М-ответы с лучевого сгибателя запястья.

Таблица 9 - Выраж хирургической тактики по результатам ИОНМ

Повреждение нерва	N	Нерв	Предполагаемая операция	ИОНМ	Выполненная операция
Компрессия рубцом	1	Срединный	Невролиз	М-ответ -	Нейрорафия
Внутриствольный рубец	6	Срединный -3 Локтевой - 2 Лучевой -1	Микро хирургическая реконструкция	М-ответ +	Эндоневролиз
Интерпозиция в перелом	1	Срединный	Микро хирургическая реконструкция	М-ответ +	Эндоневролиз

В нашем исследовании ИОНМ выступил в качестве вспомогательного метода определения непосредственной хирургической тактики. Подтвержденная при помощи ИОНМ сохраняемая моторная проводимость по нерву, в большинстве случаев, оправдывала необходимость ограничиться невролизом или эндоневролизом даже при спорных интраоперационных находках.

3.4 Оценка эффективности лечения

Средний срок повторного осмотра пациентов составил 5,6 месяцев \pm 3,07. Оценивались регресс пареза в кисти и восстановление мелкой моторики, регресс сенсорных нарушений и регресс нейропатического болевого синдрома. Один пациент с выполненной нейрорафией срединного нерва был исключен из катамнеза по причине несостоятельности нейрорафии (через 2 месяца) и необходимости повторной операции (аутотрансплантации).

Динамика симптоматики оценивалась отдельно в каждой из 60 операций.

Из 56 случаев моторных нарушений полный регресс пареза (в том числе мелкой моторики) был отмечен в 36 случаях (64,29%). В 18 случаях (32,14%) отмечен регресс пареза до 4-х баллов (MCR). В одном случае (1,79%) нейропатии

локтевого нерва восстановление функции достигло только 3-х баллов.

Неполное восстановление функции (n=19) было отмечено в 9 (47,37%) случаях поражения срединного нерва, в 7 (36,84%) случаях – локтевого нерва и в 3 (15,79%) случаях – лучевого.

Одному пациенту (1,79%) с поражением срединного нерва потребовалась повторная операция (аутотрансплантация) из-за несостоятельности нейрорафии.

Мы проанализировали связь данных ИОНМ с результатами бальной оценки восстановления моторной функции. В группе операций, где при стимуляции был получен М-ответ (группа 1) средний балл восстановления составил $4,81 \pm 0,4$. В группе, где М-ответ получен не был (группа 2) средний балл равен $3,92 \pm 1,0$. Статистически достоверно мы получили лучший и более предсказуемый результат восстановления моторной функции в группе, где М-ответ с нерва был зарегистрирован ($p=0,0002$, $p<0,05$). При отсутствии М-ответа степень восстановления была ниже, а разброс – шире (Рисунок 40).

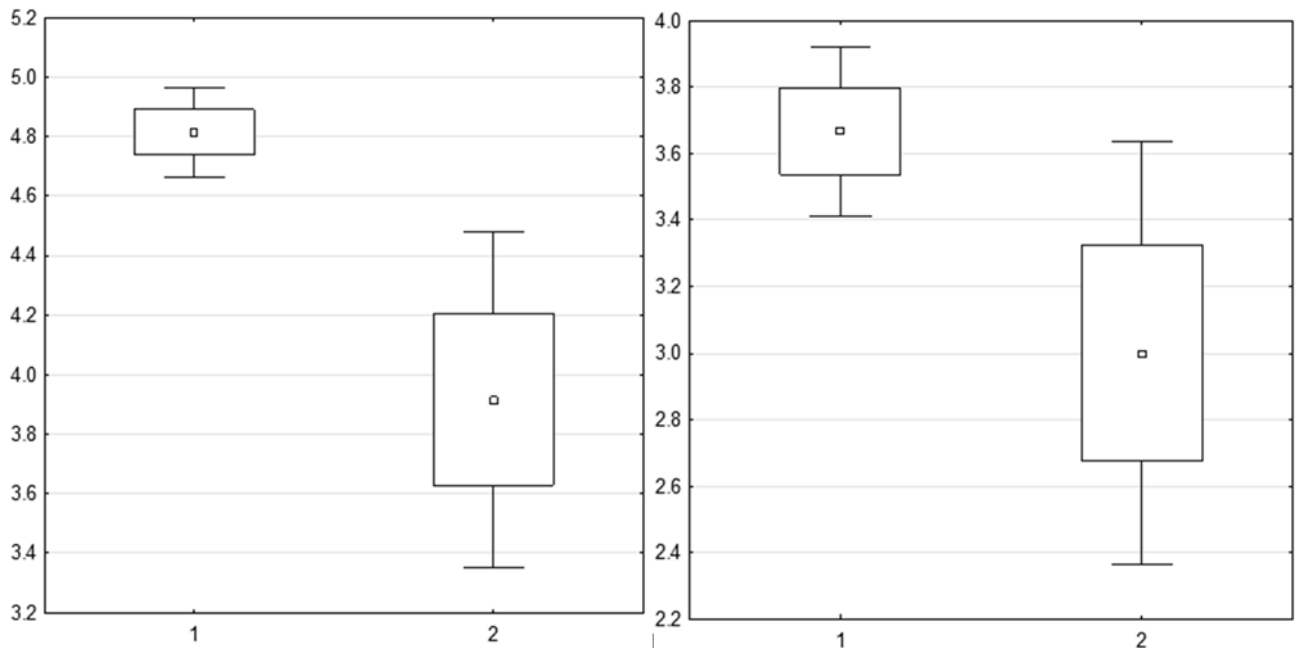


Рисунок 40 - Динамика восстановления моторной функции по баллам в группах 1 и 2. А - Восстановление движений в баллах. Б - средний прирост движений в баллах

Также мы анализировали прирост бальной оценки движений в группах 1 и 2. В группе 1 прирост статистически достоверно был выше и более предсказуем, чем в группе 2 ($p=0,0276$, $p<0,05$). Средний прирост в баллах в группе 1 составил

3,72 балла, прирост в группе 2 – 3,2 балла (Рисунок 41).

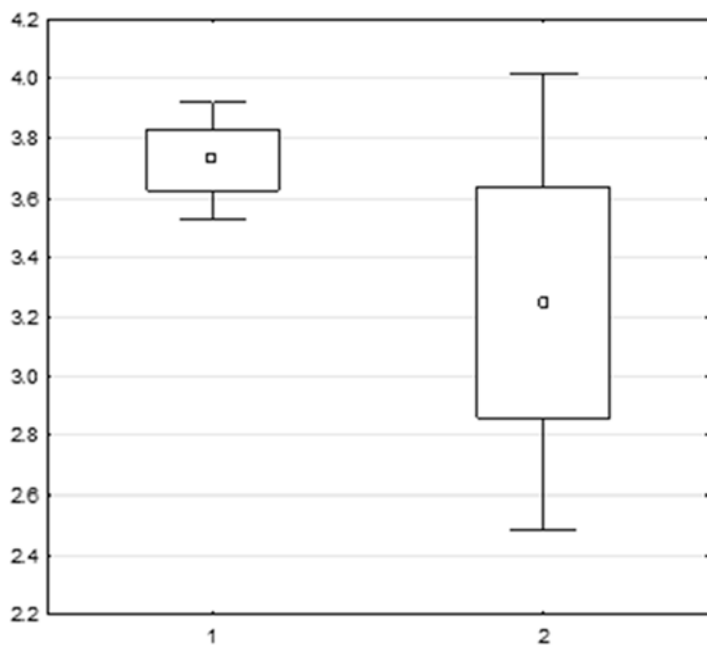


Рисунок 41 - Распределение прироста движений по баллам (MRC) в группах 1 и 2

При оценке средних значений прироста мы установили, что в группе 1 он был несколько выше и разброс значений прироста движений был более предсказуем, чем в группе 2.

Динамику чувствительных нарушений мы разделили на 3 группы: полный или значимый регресс, частичный регресс и отсутствие регресса. Для унификации результатов полный и значимый регресс были объединены в одну группу из-за сложности оценки чувствительности у детей в возрасте до 7 лет. Из 49 случаев полный и значимый регресс отмечен у 36 (73,47%), частичный регресс с сохранением гипестезии - в 11 (22,45%), отсутствие регресса – в 2 (4,08%).

Нейропатический болевой синдром регрессировал у всех 19 пациентов.

При сравнении результатов лечения в группе 1 (невролиз, невролиз с транспозицией и эндоневролиз) и группе 2 (нейрорафия и аутотрансплантация) мы не нашли значимых различий.

Для объективизации оценки результатов лечения мы разделили исходы на «отличный», «хороший», «удовлетворительный» и «неудовлетворительный» (Таблица 10).

Таблица 10 - Шкала оценки результатов

Результат лечения		Количество операций n=60	
Отличный	Регресс пареза до 5 б Полный регресс сенсорных симптомов Регресс болевого синдрома	33	55%
Хороший	-Регресс пареза до 5 б, частичный регресс гипестезии, регресс болевого синдрома -Регресс пареза до 4 б, полный регресс гипестезии, регресс болевого синдрома	19	31,67%
Удовлетворительный	Регресс пареза до 3-4 б Сохраняется гипестезия	5	8,33%
Неудовлетворительный	-Регресс пареза до 3 б, анестезия -Сохраняется изолированная анестезия -Нет регресса (повторная операция)	3	5%

К «отличному» результату мы отнесли случаи с полным регрессом пареза, сенсорных нарушений и нейропатического болевого синдрома (n = 33).

К «хорошему» результату мы отнесли случаи с полным регрессом пареза, но с сохранением гипестезии или регресс пареза до 4-х баллов с регрессом сенсорных нарушений (n=19).

«Удовлетворительным» результатом мы считали регресс пареза до 3-4-х баллов с сохранением гипестезии (n=5).

К «неудовлетворительным» результатам мы отнесли 3 случая:

1. Пациент с регрессом пареза до 3х баллов и сохранением анестезии (эндоневролиз срединного нерва, катамнез 5 месяцев);
2. Пациент без исходных парезов с невыраженным восстановлением чувствительности после анестезии (невролиз локтевого нерва, катамнез 5 месяцев);
3. Пациент, потребовавший повторного вмешательства с несостоятельностью анастомоза срединного нерва после нейрографии.

В группе 1 операций без микрохирургической реконструкции (невролиз, невролиз с транспозицией и эндоневролиз) число «отличных» результатов составило 32 (68,09%), «хороших» - 12 (25,53%), «удовлетворительных» – 1 (2,13%), «неудовлетворительных» – 2 (4,26%). При этом катамнез составил в среднем $5,3 \pm 2,9$ месяцев.

В группе 2 операций с микрохирургической реконструкцией (нейрорафия и аутотрансплантация) «отличных» результата лечения было – 2 (15,38%), 6 (46,15%) – «хороших», 4 (30,77%) – «удовлетворительных» и 1 (7,69%) – «неудовлетворительных». Катамнез составил $7,1 \pm 2,8$ месяцев.

Распределение результатов лечения в группах 1 и 2 представлено на рисунке 42.

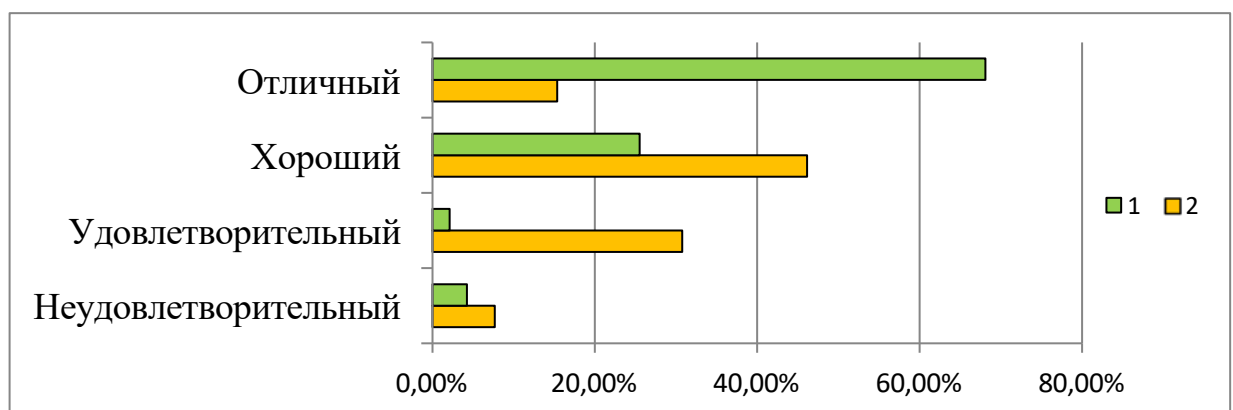


Рисунок 42 - Распределение результатов лечения в группах 1 и 2

Мы так же проанализировали результаты в группе операций, где результаты ИОНМ изменили непосредственную тактику (Таблица 11). В семи случаях был отмечен полный регресс симптомов, и только в одном - регресс пареза в пальцах до 4-х баллов и сохранение гипестезии. С учетом сроков катамнеза последнего случая (4 месяца после нейрорафии срединного нерва ребенка 7 лет) результат можно считать неокончательным. Таким образом, в 19% использование ИОНМ позволило качественно изменить хирургическую тактику и улучшить результаты лечения.

Таблица 11 - Оценка результатов лечения пациентов с измененной тактикой лечения

Повреждение нерва	N	Предполагаемая операция	ИОНМ	Выполненная операция	Результат
Компрессия рубцом	1	невролиз	М-ответ -	нейрорафия	Удовлетворительный* *4 месяца
Внутриствольный рубец	6	реконструкция	М-ответ +	эндоневролиз	Отличный
Интерпозиция в перелом	1	реконструкция	М-ответ +	эндоневролиз	Отличный

Клиническое наблюдение 1

Мальчик 8 лет получил спортивную травму в результате падения на вытянутую руку (разгибательный механизм чрезмыщелкового перелома).

В первые сутки в НИИ НДХиТ была выполнена закрытая репозиция и МОС спицами. На вторые сутки ребенок жаловался на слабость в 1-2 пальцах и онемение 1-3 пальцев. Пациент осмотрен неврологом, даны рекомендации по консервативной терапии, выписан через 2 суток после вмешательства.

Через 7 суток после выписки по результатам рентген-контроля выявлены показания к чрезкожному реостеосинтезу. Через 4 недели спицы были удалены. Все это время ребенок наблюдался у невролога, получал консервативное лечение в объеме электрофореза с ингибиторами АХЭ и лечебной физической культуры.

При повторном осмотре невролога в НИИ НДХиТ через 2,5 месяца отмечено отсутствие положительной динамики: сохранялся парез щипкового захвата – 1 балл, анестезия 1-3 пальцев.

Выполнено обследование, при котором выявлены электрофизиологические признаки невралгического поражения срединного нерва и УЗ-признаки интерпозиции ствола в перелом (Рисунок 43, 44).

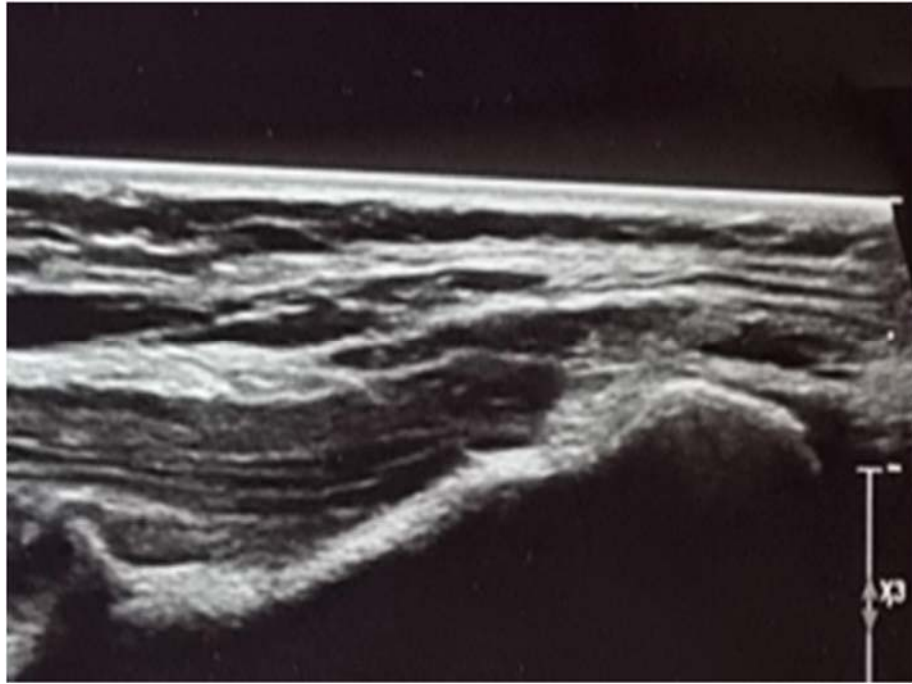


Рисунок 43 - УЗИ срединного нерва

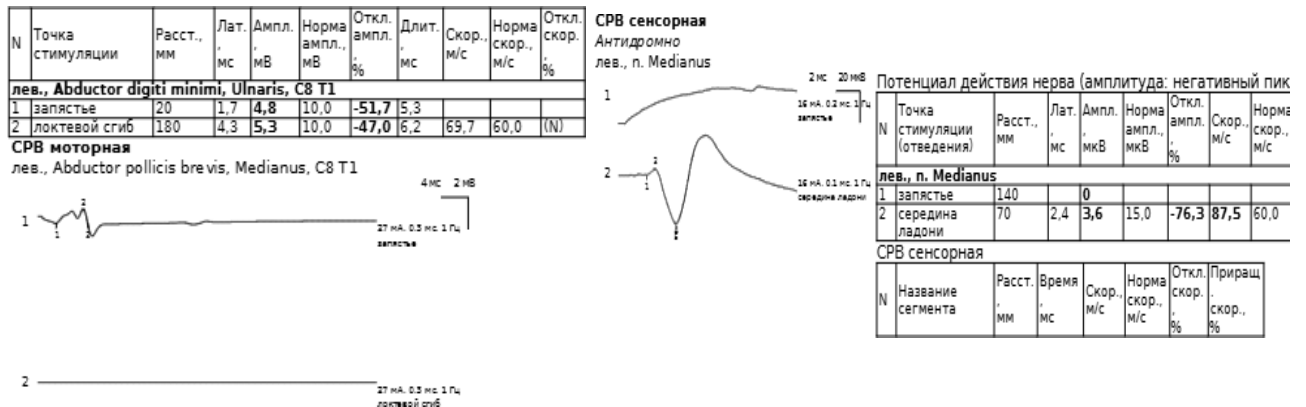


Рисунок 44 - ЭНМГ исследование срединного нерва

В ходе операции была обнаружена интерпозиция срединного нерва в перелом. Прямая стимуляция дистальной порции на субмаксимальной силе тока М-ответов и видимых сокращений получено не было. Ситуация потребовала экономной резекции травмированного участка нерва. Полученный диастаз в 1 см и отсутствие явного натяжения позволили выполнить нейрорафию с наложением эпинеурально-фасцикулярных узловых швов нитью prolene 6/0 (Рисунок 45).

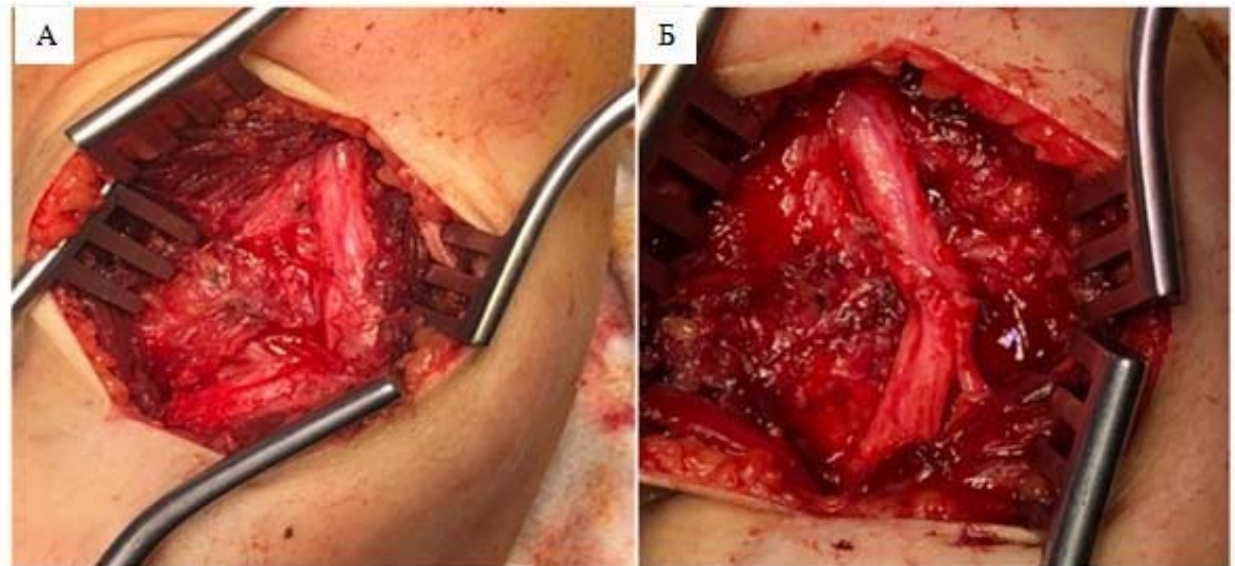


Рисунок 45 - Интраоперационная фотография срединного нерва:
 А - Интерпозиция в перелом, Б - Этап сопоставления концов нерва
 перед нейрорафией

Течение раннего послеоперационного периода протекало без осложнений, пациент был выписан на 4-е сутки после операции под наблюдение невролога, рекомендована иммобилизация локтевого сустава в ортезе на 3 недели.

Через 4 недели после выписки, при попытке разработать локтевой сустав пациент отметил боль с иррадиацией в ладонь. При УЗИ срединного нерва в области вмешательства выявлена несостоятельность анастомоза ствола, что потребовало выполнения повторной операции – аутоотрансплантации (Рисунок 46).

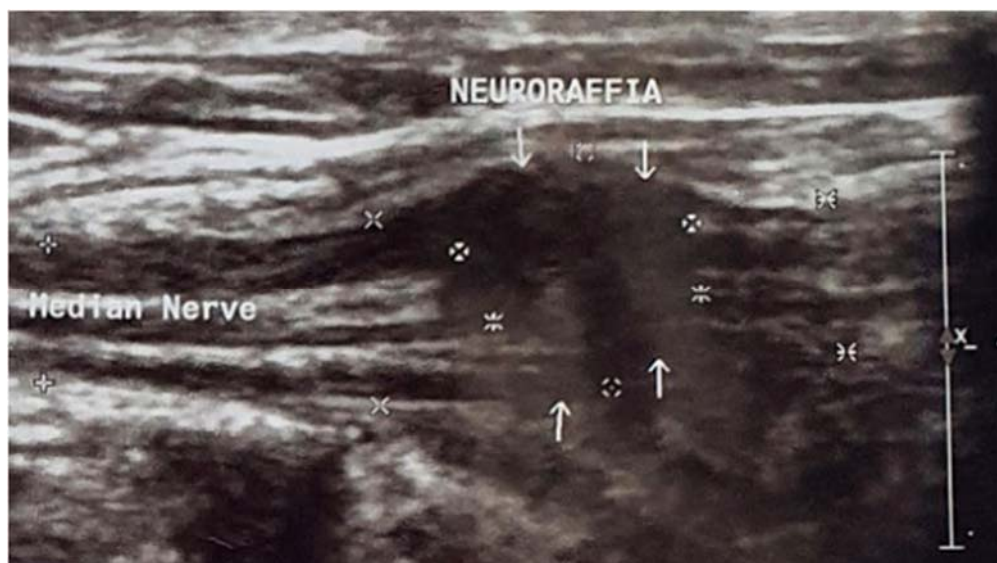


Рисунок 46 - УЗИ срединного нерва через 4 недели после нейрорафии

Иллюстрированный случай демонстрирует закрытое повреждение срединного нерва, которое было вовремя выявлено, но тяжесть которого было сложно заподозрить на ранних этапах наблюдения. Можно предположить, что повторное травматологическое вмешательство могло способствовать ухудшению течения выявленной нейропатии.

Показания к операции, основанные на результатах диагностики (в первую очередь УЗИ) были объективными, а необходимость выполнения реконструкции нерва оправданной. Несостоятельность анастомоза, на наш взгляд, могла быть вызвана не только нарушением охранительного режима, но и недооценкой факторов натяжения и подвижности ствола на уровне локтевого сгиба. Этот случай демонстрирует необходимость учитывать натяжение нерва при нейрорафии, подвижность сегмента конечности, где выполнена реконструкция и необходимость иммобилизации в раннем послеоперационном периоде.

Клиническое наблюдение 2

Девочка 5 лет получила травму в результате падения на вытянутую левую руку, в результате чего выявлен чрезмыщелковый перелом плечевой кости со смещением. Пациентке в первые сутки выполнена закрытая репозиция перелома и МОС спицами. На момент выписки, по данным медицинской документации, пациентка жалоб не предъявляла. Через неделю после удаления спиц мама заметила, что дочь не использует левую кисть в игровом процессе. Ребенок был осмотрен неврологом по месту жительства, выявлена слабость в 1-2 пальцах. Назначенная консервативная терапия в течении шести недель без значимого эффекта. Пациентка направлена на консультацию к нейрохирургу, при осмотре выявлен симптом Бенедикта, парез сгибания 1-2 пальцев до 2-х баллов, отсутствие щипкового хвата и гиперпатия ладонной поверхности кисти при поверхностных чувствительных пробах и контакте с предметами. При ЭНМГ выявлено аксональное поражение срединного нерва и анастомоз Рише-Канью. УЗИ исследование показало интерпозицию срединного нерва к перелому (Рисунок 47).

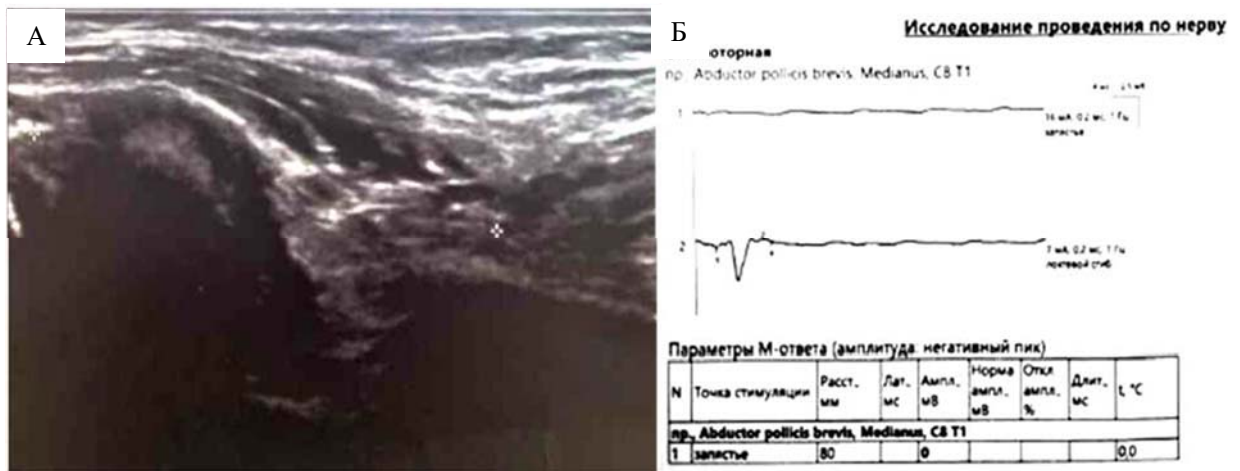


Рисунок 47 - Исследование срединного нерва: А - УЗ-картина интерпозиции нерва в перелом; Б - ЭНМГ-признаки анастомоза Реше-Канью

Перечисленные факторы явились показанием к хирургическому лечению.

В ходе ревизии интерпозиция нерва в перелом была подтверждена. При стимуляция дистальной части ствола на 5мА ответов с М. Thenari получено не было. Интраоперационная картина потребовала резекции поврежденного участка в местах входа и выхода из костной мозоли. Диастаз составил 3,5 см. Был осуществлен подкожный забор ауто трансплантата икроножного нерва длиной 20 см при помощи неврального стриппера. Сформированы 5 ауто трансплантатов, при помощи микрохирургической техники нитью Prolen 9/0 наложены микроанастомозы (Рисунок 48).

По итогу операции наложены внутрикожные швы и циркулярная иммобилизирующая повязка на локтевой сустав. Девочка выписана на 3-е сутки после вмешательства. При контрольном осмотре через 5 месяцев у девочки отмечено восстановление силы сгибания в 1-2 пальцах, восстановление силы кистевого хвата до 5 баллов. При поверхностных сенсорных пробах отмечен регресс гиперпатии, однако мама отмечает, что дочь при этом меньше пользуется левой кистью.

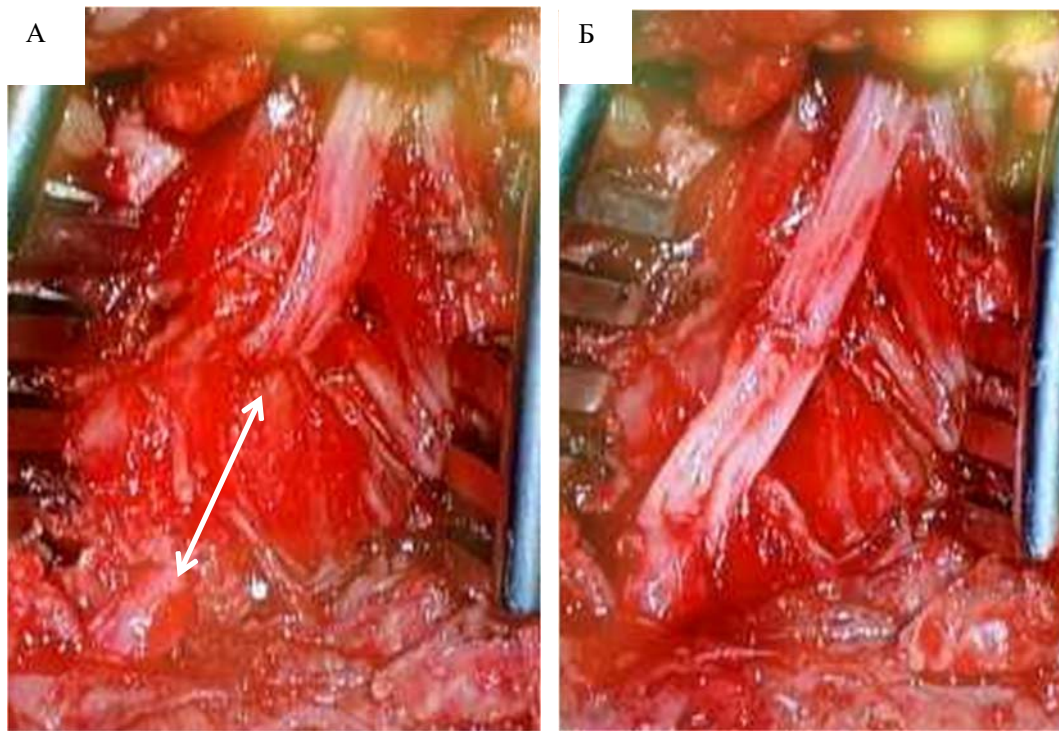


Рисунок 48 - Операционная фотография срединного нерва: А - интерпозиция нерва в перелом Б - аутотрансплантация

Данный клинический случай демонстрирует особенности проявления симптомов нейропатии у детей младшей возрастной группы. Отсутствие вербализации жалоб в сочетании с особенностями течения нейропатического болевого синдрома затрудняют диагностику травмы нерва.

Избегание ребенком контакта ладонью с привычными предметами должно настораживать специалистов в отношении нейропатии. Выявленный при обследовании анастомоз между моторными порциями срединного и локтевого нервов не компенсирует неврологический дефицит, связанный с травмой срединного нерва.

Необратимое повреждение нерва было диагностировано при УЗИ и подтверждено интраоперационной картиной. Особенностью течения травмы нерва в раннем детском возрасте так же является легкий отказ от использования кисти травмированной конечности и достаточно долгий процесс повторного наработки праксиса при выздоровлении.

3.5 Алгоритм дифференцированного подхода к выбору хирургического лечения

При разработке возможного алгоритма дифференцированного подхода к хирургическому лечению пациентов детского возраста с нейропатиями после закрытых чрезмышечковых переломов мы руководствовались следующими факторами:

1. оптимальные сроки консервативного ведения;
2. особенности предоперационной диагностики;
3. лимитирование метода УЗ визуализации;
4. вариативности интраоперационных находок;
5. необходимость уточняющей интраоперационной диагностики.

При постановке показаний к хирургическому лечению должны учитываться динамика неврологической симптоматики, сроки возможного спонтанного восстановления, сроки формирования электрофизиологических и ультразвуковых признаков травмы нерва. Многие авторы придерживаются средних сроков оправданной выжидательной тактики, которая составляет 3 месяца [6, 11,32,74,90,103,107].

Отсутствие регресса симптомов в эти сроки является показанием к хирургическому вмешательству. В эти же сроки наиболее информативными для определения дальнейшей тактики становятся результаты ЭНМГ [102].

При формировании алгоритма мы так же учитывали результаты УЗИ, которые демонстрируют неоднозначную картину повреждения нервов. Вариативность интраоперационной картины повреждения нерва также подразумевает необходимость уточнения для определения непосредственной хирургической тактики. В нашем исследовании этим уточняющим методом является интраоперационная прямая стимуляция нерва.

Алгоритм дифференцированного подхода к хирургическому лечению пациентов детского возраста с нейропатиями после закрытых чрезмышечковых переломов представлен на рисунке 49.

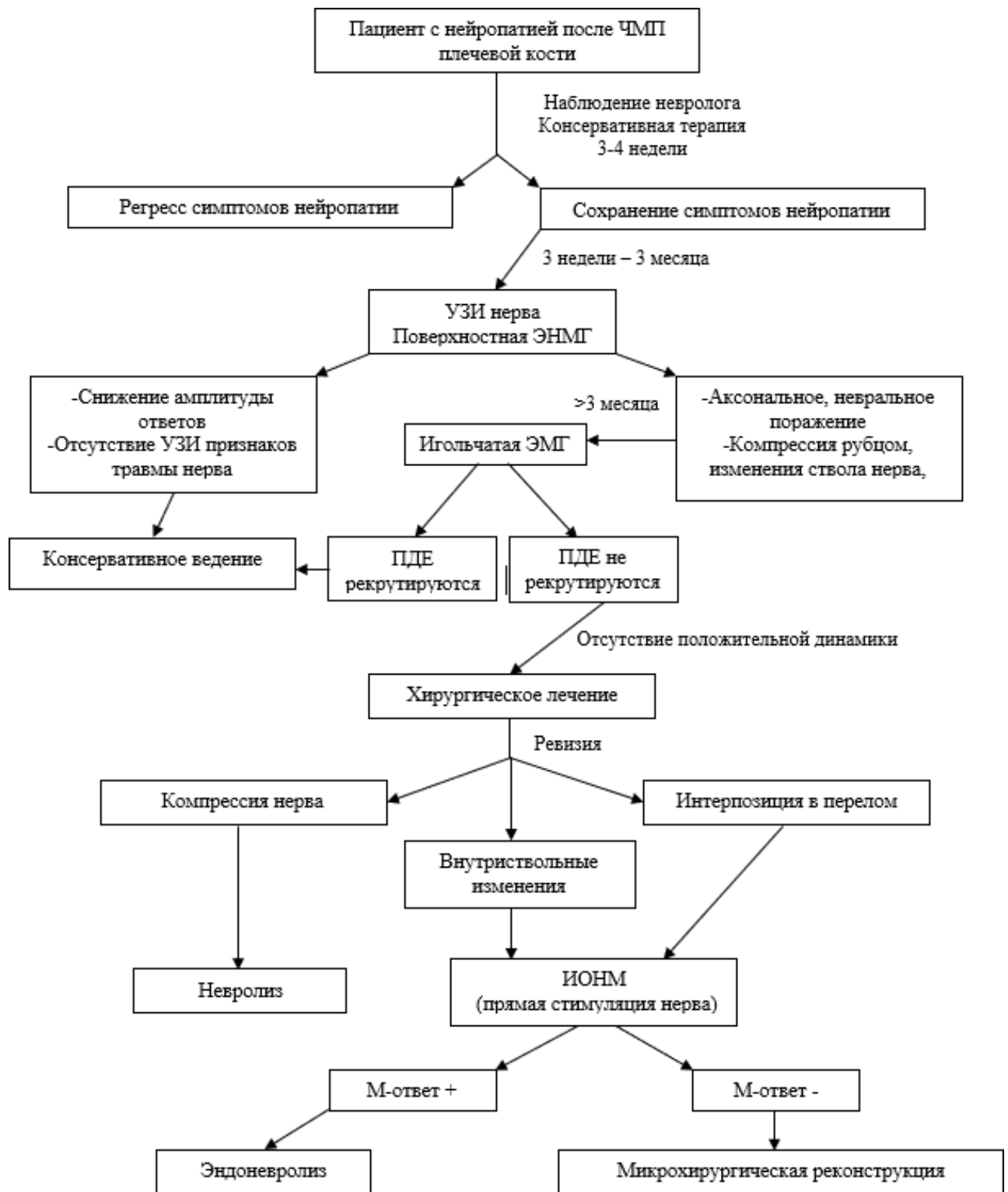


Рисунок 49 - Алгоритм дифференцированного подхода к хирургическому лечению пациентов детского возраста с нейропатиями после закрытых чрезмыщелковых переломов

Заключение

Хирургия периферической нервной системы на сегодняшний день является развивающимся направлением на стыке нескольких специальностей. Несмотря на использование современных технологий и микрохирургических методов, результаты восстановления утраченных функций часто далеки от удовлетворительных. По-прежнему актуальным остается вопрос полноценного восстановления функции кисти при травме нервов верхней конечности.

В отечественной и зарубежной литературе существует достаточное количество публикаций, посвященной травматическим нейропатиям у взрослых пациентов [6,19,32,53,102,111,113]. Современные работы по лечению повреждений нервов у детей в отечественной практике носят единичный характер. Несмотря на это, распространенность посттравматических нейропатий достаточно широко представлена в мировой литературе.

Актуальность выбранной нами темы так же оправдана нашими данными о 10,2% выявленных нейропатий после чрезмыщелковых переломов, из которых каждый пятый случай потребовал хирургического лечения. Наши данные сопоставимы с данными мировой литературы. Все эти факты указывают на необходимость настороженно относиться к появлению неврологических нарушений в посттравматическом периоде, динамически их наблюдать и, при необходимости, своевременно обратиться за специализированной помощью.

Многие специалисты при ведении нейропатий детского возраста руководствуются принципами обследования и лечения взрослых пациентов [6,21,33,37]. Распространенное мнение о высоких репаративных способностях детского организма не всегда оправдано, а адаптивные способности преувеличены. Напротив, репаративные возможности костной ткани детского организма может негативно сказываться на течении травматической нейропатии. На этот факт в нашей работе указывает 20 случаев (34%) компрессии и интерпозиции нерва в костную мозоль.

Мнение отдельно взятых специалистов о высокой репаративной способности аксонов в детском возрасте не доказано [37]. Так же преувеличены адаптивные способности центральной нервной системы. Последний факт в нашей практике демонстрируют дети возраста младше 8 лет, которые с легкостью «отказываются» от использования паретичной доминантной кисти в пользу здоровой, но с трудом начинают вновь активно использовать ее при восстановлении функций. Эта нейропластичность позволяет ребенку легко переключиться на использование контралатеральной конечности, но требует усилия от родителей при реформировании старых навыков, закрепленных за травмированной конечностью. Незавершенный процесс миелинизации периферических нервов у детей в возрасте до 8 лет так же выражается в особенностях симптоматики травмы нервов. Невыявленный и сохраняющийся нейропатический болевой синдром затрудняет восстановительное лечение и значительно снижает скорость и качество восстановления функции кисти. В нашем исследовании 9 пациентов из 18 с нейропатическим болевым синдромом были младше 8 лет.

Комплексный диагностический подход к закрытым повреждениям нервов при чрезмышечковых переломах у детей должен включать ЭНМГ и УЗИ периферических нервов. Поверхностную ЭНМГ должна дополнять игольчатая ЭМГ. Последняя дает представление степени выраженности денервации целевых мышц и помогает вовремя принять решение о необходимости своевременного хирургического лечения. Необходимо так же учитывать электрофизиологические находки, такие как анастомоз Рише-Канью, наличие которого может имитировать сохранное проведение по нерву.

УЗИ периферических нервов является стандартом визуализации, однако в нашем исследовании 32,7% результатов не совпали с фактической картиной повреждения. Таким образом, в нашем исследовании, ЭНМГ и УЗИ, совокупно с клинической картиной, лишь определяли показания к хирургическому лечению.

Особенностью закрытых травм нервов является сложность определения тяжести повреждения и прогнозирования степени возможного восстановления. Сложностью является и выбор непосредственной хирургической тактики.

Открытые повреждения нервов, или повреждения с доказанным анатомическим перерывом всегда подразумевают восстановление целостности, путем нейрорафии или аутотрансплантации. В то же время лечение закрытых повреждений без анатомического перерыва часто является предметом для дискуссии.

Отсутствует единый подход к ведению пациентов с закрытыми повреждениями нервов. В особенности это касается пациентов детского возраста. Отсутствие единого подхода приводит, в конечном итоге, к неудовлетворительным исходам и значительно снижает качество жизни пациентов. Связано это может быть со следующими факторами:

1. Отсутствие настороженности в отношении повреждения нервов при переломах у детей.
2. В ряде случаев, пренебрежение к оценке первичного неврологического статуса в раннем периоде течения травмы.
3. Переоценка репаративных способностей детского организма.
4. Отсутствие единого подхода к консервативному лечению.
5. Отсутствие понимания необходимости и сроков комплексного инструментального обследования.
6. Особенности электрофизиологического обследования детей младшего возраста (ко-стимуляция, превышенные силы стимула).
7. Анатомические особенности, имитирующие восстановление функции - анастомоз Рише-Канью.

В большинстве случаев, динамическое наблюдение и консервативная терапия в отношении посттравматических нейропатий оправданы [5,19,59,80,90,91,93,97]. Восстановление движений и чувствительности происходит через несколько недель после травмы. В нашем исследовании, это число составило 78,6%. В тоже время наше исследование показало, что в отношении 21,4% выявленных нейропатий после чрезмышечковых переломов консервативная терапия оказалась неэффективна.

При выставлении показаний к хирургическому лечению мы руководствовались данными инструментального обследования, которое включало ЭНМГ и УЗИ. С третьего месяца после дебюта нейропатии мы назначали игольчатую ЭМГ. Отсутствие рекрутирования ПДЕ и преобладание признаков денервации являлись одними из критериев определения показаний к хирургии. При выполнении ЭНМГ мы учитывали наличие перекрестной моторной иннервации (анастомоз Реше-Каню), которая маскировала повреждение нерва, имитировала процесс восстановления, но не компенсировала неврологический дефицит.

Во всех случаях УЗ-визуализация подтвердила наличие признаков посттравматической нейропатии, но только в 46% ее данные совпали с интраоперационной картиной повреждения нерва. Самые тяжелые повреждения, такие как итерпозиция нерва в перелом и деформация ствола на протяжении встречались нам в возрастных группах до 12 лет, а частота компрессии костной мозолью снижалась в более старших возрастных группах. Это так же указывает на особенности течения нейропатий при переломах в младших возрастных группах и необходимость внимания к ним. Фактическая картина видов повреждения нерва, на которые приходится лишь 65% компрессии, демонстрирует многообразие тяжести закрытых нейропатий при переломах локтевого сустава. Затруднение оценки возможности восстановления при очевидных случаях целостности нерва побудило нас использовать дополнительный метод интраоперационной стимуляции. В нашем исследовании М-ответ статистически достоверно ($p < 0,05$) воспроизводился при компрессии нерва рубцами, костной мозолью и при интерпозиции в перелом. С одной стороны, это указывает на меньшее страдание функции нерва при компрессии. С другой стороны - на вариабильность функционального состояния при очевидном более тяжелом повреждении.

При внутривольных изменениях, которые представляют сложность для выбора тактики, сохраненная проводимость являлась объективным показанием ограничиться эндоневролизом. В нашей практике это подтверждено 7-ю случаями измененной хирургической тактики на основании ИОНМ с отличным результатом при дальнейшем наблюдении, т.е. с полным регрессом всех симптомов. Исходя из

этого, определяющими факторами при выборе непосредственной хирургической тактики явились непосредственные операционные данные - картина повреждения и данные ИОНМ.

Количество микрохирургических реконструкций ($n=13$, 21,7%) демонстрирует долю тяжелых повреждений, которая может быть неочевидна при диагностике закрытых повреждений нервов. Тот факт, что только в 8 (61,5%) случаях причиной реконструкции стала интерпозиция в перелом, говорит о том, что оставшиеся 5 (38,5%) случаев закрытых повреждений не имели очевидных диагностических показаний к реконструкции нерва и требовали уточняющих данных.

Факторами, влияющими на результаты хирургического лечения, повреждения нервов являются вид повреждения нерва, сроки вмешательства, возраст пациента, наличие осложнений в послеоперационном периоде и сроки наблюдения.

При оценке результатов лечения мы не нашли достоверной связи с возрастом пациентов, равно как и с тяжестью повреждения нерва. По всей видимости это связано с преобладанием менее тяжелых видов повреждений, что вполне соответствует структуре закрытой травмы периферических нервов.

Результаты лечения в группе без микрохирургической реконструкции оценивались в среднем через $5,3 \pm 2,9$ месяца. В то время как в группе с микрохирургической реконструкцией результаты оценивались в среднем через $7,1 \pm 2,8$ месяцев. Восстановление функции нерва после проведенной микрохирургической реконструкции с точки зрения роста аксонов, ремиелинизации, реформирования синапса и реиннервации мышцы требует гораздо большего времени.

Пациенты с удовлетворительными и неудовлетворительными результатами (за исключением повторной операции) оценивались в среднем через $6,3 \pm 3,03$ месяца. При этом мы должны учитывать разные длины конечности, т.е. расстояния до целевых мышц. Эти факты дают нам основание полагать, что оценка результатов в более отдаленном периоде увеличило бы число хороших и отличных исходов.

Отсутствие гнойно-септических осложнений и сроки госпитализации, ограниченные 3-4 днями, указывает на безопасность данной хирургии. Возможность применения миниинвазивных доступов, как при невролизе и декомпрессии локтевого нерва, позволяют уменьшить травматичность вмешательства и сократить сроки восстановления. Однако, при реконструктивных вмешательствах, стоит обратить внимание на тщательный охранительный режим и необходимость иммобилизации. На этот факт указывает наш случай несостоятельности анастомоза, потребовавший повторной реконструкции.

При описании алгоритма дифференцированного подхода к лечению пациентов с закрытым повреждением нервов мы учитывали долю диагностических ошибок и необходимость задействования дополнительных методов интраоперационной диагностики, которым в нашем случае выступала прямая стимуляция нерва.

Использование современных биотехнологий и клеточной инженерии в детской хирургической практике сильно лимитированы, что побудило нас искать способы улучшения результатов лечения среди уже применяемых методов. Поиск более четких диагностических критериев для своевременной постановки показаний к хирургии и применение дополнительных методов интраоперационной диагностики позволят улучшить результаты лечения пациентов с закрытыми повреждениями нервов.

Выводы

1. В структуре чрезмышечковых переломов плечевой кости у пациентов детского возраста закрытые повреждения периферических нервов составляют 10,2%, из числа которых 78,6% восстанавливаются в течение 3-х месяцев, а в 21,4% наблюдений повреждения носят необратимый характер и требуют хирургического лечения.

2. Разгибательный механизм травмы со смещением проксимального отломка плечевой кости кзади является ведущей причиной развития посттравматических нейропатий, требующих хирургического лечения, и составляет 79%.

3. Объем хирургического вмешательства определяется операционной картиной повреждения периферических нервов и данными интраоперационной электрофизиологической диагностики.

4. Выполнение невролиза и эндоневролиза при закрытых повреждениях периферических нервов обосновывается наличием М-ответа при интраоперационной стимуляции.

5. Показаниями к микрохирургической реконструкции периферических нервов являются выявленные интраоперационно интерпозиция нерва в перелом и деформация его на протяжении при отсутствующей электрофизиологической проводимости по данным интраоперационного нейромониторинга.

6. Каждый 5-й случай (21,7%) закрытой посттравматической нейропатии при чрезмышечковых переломах требует микрохирургической реконструкции, несмотря на отсутствие признаков анатомического перерыва.

7. Использование интраоперационного нейромониторинга позволяет прогнозировать восстановление моторной функции у пациентов с посттравматическими нейропатиями. Полученный при прямой стимуляции М-ответ статистически достоверно ($p=0,0002$, $p<0,05$) обеспечивает лучший функциональный моторный исход.

8. Разработанный дифференцированный подход в выборе хирургического лечения, основанный на данных дооперационной диагностики и уточняющих интраоперационных данных (интраоперационная картина и данные интраоперационного нейромониторинга), обеспечивает в 95% случаев значимое восстановление функций («отличный» результат - 55%, «хороший» - 31,67%, «удовлетворительный» - 8,33%) ($p < 0,05$).

Практические рекомендации

1. При лечении чрезмыщелковых переломов плечевой кости необходимо учитывать риск возникновения посттравматических нейропатий, особенно в возрастной группе 7-12 лет.
2. Все пациенты с выявленной нейропатией периферических нервов после чрезмыщелковых переломах плечевой кости должны наблюдаться неврологом с целью отслеживания динамики симптомов и своевременного назначения дообследования при отсутствии спонтанного восстановления.
3. Всем пациентам с чрезмыщелковыми переломами плечевой кости и закрытыми повреждениями периферических нервов в отсутствии регресса симптомов в течении 3 месяцев после травмы должно проводится обследование в следующем объеме: оценка моторной и сенсорной функций кисти; оценка на предмет нейропатического болевого синдрома; электронейромиография от 3-х недель и более после травмы; игольчатая электромиография от 3-х месяцев и более после травмы; УЗИ периферических нервов от 3-х недель и более после травмы.
4. В отсутствие установленного анатомического перерыва периферических нервов при закрытых повреждениях рекомендовано руководствоваться данными интраоперационной картины и результатами интраоперационной диагностики (прямая стимуляция нервов).
5. Оперативные вмешательства при закрытых повреждениях периферических нервов рекомендуется выполнять с использованием микрохирургического инструментария, средств увеличения и интраоперационного нейромониторинга в объеме прямой стимуляции нерва. Предложенные методические рекомендации позволят улучшить результаты лечения пациентов детского возраста с закрытыми повреждениями периферических нервов в результате чрезмыщелковых переломов плечевой кости.

Список сокращений

MRC (medical reseach council) - шкала оценки мышечной силы от 0 до 5 баллов

АХЭ - ацетилхолинэстераза

ИОНМ - интраоперационный нейромониторинг

КЭТН - комбинированный эндотрахиальный наркоз

М-ответ - мышечный ответ

МОС - металлоостеосинтез

ПДЕ - потенциал двигательных единиц

ПДСН - потенциал действия сенсорного нерва

СРВм - скорость распространения возбуждения по моторным волокнам

СРВс - скорость распространения возбуждения по сенсорным волокнам

УЗИ - ультразвуковое исследование

ЧМП - чрезмышцелковый перелом

ЭНМГ - электронейромиография

ЭМГ - электромиография

Список литературы

1. Анатомия человека. Опорно-двигательный аппарат / Р. Е. Калинин, А. А. Калинин, И. В. Андреева [и др.]. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. – 256 с.
2. Аномалии иннервации: варианты и типичные электронейромиографические признаки / Д. А. Гришина, Н. А. Супонева, Э. В. Павлов, Н. Г. Савицкая // Нервно-мышечные болезни. – 2016. – Т. 6, № 2. – С. 10–19. – DOI: 10.17650/2222-8721-2016-6-2-10-19.
3. Ахмедов, Р. А. Опыт лечения чрез- и надмышцелковых переломов плечевой кости при интерпозиции сосудисто-нервного пучка у детей / Р. А. Ахмедов, Т. С. Мусаев, Т. Р. Минаев // Актуальные вопросы травматологии и ортопедии на современном этапе. Материалы междунар. науч.-практ. конф. Травматология и ортопедия 2007; 92.
4. Бажанова, Н. Н. Дифференциальный подход к лечению чрезмышцелковых и надмышцелковых переломов плечевой кости у детей: автореф. дис. канд. мед. наук: 14.00.35 / Бажанова Наталья Николаевна. – М., 2008. – 29 с.
5. Баиров, Г. А. Переломы в области локтевого сустава у детей / Г. А. Баиров. – Л.: Медгиз, 1962. – 152 с.
6. Берснев, В. П. Практическое руководство по хирургии нервов / В. П. Берснев, Г. С. Кокин, Т. О. Извекова. – СПб.: Умный доктор, 2017. – 552 с.
7. Берснев, В. П. Хирургия позвоночника, спинного мозга и периферических нервов: руководство для врачей / В. П. Берснев, Е. А. Давыдов, Е. Н. Кондаков. – СПб.: Специальная литература, 1998. – 368 с.
8. Возможности методов лучевой диагностики в визуализации периферических нервов предплечья и кисти / И. Г. Чуловская, А. В. Скороглядов, Н. А. Еськин [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2008. – № 2. – С. 64–69.
9. Волков, М. В. Ошибки и осложнения при лечении переломов длинных трубчатых костей у детей / М. В. Волков, Г. М. Тер-Егиазаров, В. Т. Стужина. – М.:

Медицина, 1978. – 183 с.

10. Гамбурцев, В. А. Гониометрия человеческого тела / В. А. Гамбурцев. – М.: Медицина, 1973. – 200 с.

11. Говенько, Ф. С. Избранные вопросы хирургического лечения повреждений нервов у детей / Ф. С. Говенько. – СПб.: Борей Принт, 1998. – 181 с.

12. Гончарова, М. И. Реабилитация детей с заболеваниями опорнодвигательного аппарата // М. И. Гончарова, А. В. Гришина, И. И. Мирзоева. – Л.: Медицина, 1974. – 207 с.

13. Григорович, К. А. Хирургическое лечение повреждений нервов / К. А. Григорович. – Л.: Медицина, 1981. – 304 с.

14. Дамье, Н. Г. Основы травматологии детского возраста / Н. Г. Дамье. – М.: изд-во и тип. Медгиза, 1950. – 260 с.

15. Дольницкий, О. В. Травматические деформации кисти у детей: монография / О. В. Дольницкий, Н. Ф. Дрюк. – Киев: Здоров'я, 1977. – 136 с.

16. Дорохин, А. И. Диагностика и принципы лечения детей с переломами, осложненными замедленной консолидацией / А. И. Дорохин // Актуальные вопросы детской травматологии и ортопедии: материалы научно-практической конференции детских травматологов-ортопедов России. – СПб., 2004. – С. 146–147.

17. Ельцин, А. Г. Оперативное лечение контрактур плечевого сустава у детей с натальными и постнатальными повреждениями плечевого сплетения / А. Г. Ельцин, В. Н. Меркулов // Технологии живых систем. – 2008. – Т. 5, № 2-3. – С. 98–104.

18. Еськин, Н. А. Возможности ультразвукового исследования в диагностике повреждений и заболеваний периферических нервов верхней конечности / Н. А. Еськин, Н. Ю. Матвеева, С. Г. Приписнова // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2008. – № 2. – С. 82–88.

19. Заболевания и повреждения периферических нервов / Ф. С. Говенько, Д. В. Свистов, Б. В. Мартынов, Е. Д. Алексеев // Практическая нейрохирургия: руководство для врачей / под ред. Б. В. Гайдара. – СПб.: Гиппократ, 2002. – С. 245–257.

20. Завьялов, П. В. Несвежие и застарелые переломы дистального отдела плечевой кости у детей / П. В. Завьялов, А. М. Шамсиев. – Ташкент: Медицина, 1978. – 152 с.
21. Закрытые повреждения срединного нерва у детей: тактика, варианты операции / Ф. С. Говенько, В. П. Смищук, А. В. Климкин, Э. Ю. Малецкий // Детская хирургия. – 2023. – Т. 27, № 3. – С. 202–209. – DOI: 10.55308/1560-9510-2023-27-3-202-209.
22. Зозуля, Ю. А. Современные возможности инструментальной диагностики заболеваний центральной и периферической нервной системы / Ю. А. Зозуля // Лікування та Діагностика (Київ). – 1997. – № 1. – С. 3–8.
23. Зорин, В. И. Последствия переломов в области локтевого сустава у детей / В. И. Зорин, С. А. Лукьянов, Д. Ю. Грыбок // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2024. – Т. 12, № 4. – С. 419–426. – DOI: 10.17816/PTORS636376.
24. Корлэтяну, М. А. Дифференциальная диагностика и лечение повреждений нервов при различных травмах конечностей / М. А. Корлэтяну. – Кишинев: Штиинца, 1988. – 181 с.
25. Лаврищева, Г. И. Итоги разработки теоретических вопросов репаративной регенерации опорных органов / Г. И. Лаврищева // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. – 1996. – Т. 3, № 3. – С. 58–61. – DOI: 10.17816/vto102933.
26. Лаврищева, Г. И. Регенерация и пересадка костей / Г. И. Лаврищева, Т. П. Виноградова / Медицинская визуализация. – 2000. – № 2. – С. 44–49.
27. Магарамов, М. А. Лечение сложных переломов дистального метаэпифиза плечевой кости у детей: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.35; 14.00.22 / Магарамов Магарам Абдуллаевич. – М., 1990. – 49 с.
28. Малецкий, Э. Ю. Возможности ультразвукового исследования при диагностике туннельных невропатий верхней конечности: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.13 / Малецкий Эдуард Юрьевич. – СПб., 2017. – 26 с.
29. Микрохирургия травматических повреждений периферических нервов:

сборник научных трудов / под ред. К. Я. Оглезнева. – М.: Центральный институт усовершенствования врачей, 1983. Т. 257. – 97 с.

30. Морозов, С. Ю. Судебно-медицинская характеристика качества оказания медицинской помощи при переломах локтевого сустава у детей / С. Ю. Морозов, Е. С. Тучик, Ю. Е. Морозов // Медицинская экспертиза и право. – 2015. – № 2. – С. 26–30.

31. Нейротравматология: справочник / сост. Л. Б. Лихтерман; под ред. А. Н. Коновалова, Л. Б. Лихтермана, А. А. Потапова. – Ростов н/Д.: Феникс, 1999. – 576 с.

32. Нейрохирургия: лекции, семинары, клинические работы: в 2 томах. Т. 2 / под ред. проф. О. Н. Древалю. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 864 с.

33. Попелянский, Я.Ю. Болезни периферической нервной системы: руководство для врачей / Я. Ю. Попелянский. – М.: Медицина, 1989. – 464 с.

34. Привес, М.Г. Анатомия человека: учебник / М.Г. Привес, Н.К. Лысенков, В.И. Бушкович. – 11-е изд., испр. и доп. – СПб.: Гиппократ, 2001. – 704с.

35. Рассел, С. М. Диагностика повреждения периферических нервов / С. М. Рассел; пер. с англ. Д. А. Бассэ. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 251с.

36. Реабилитация больных с травмами периферических нервов после длительной иммобилизации конечности / Е. Ф. Левицкий, Л. П. Стрелис, Н. Г. Абдулина, Ю. В. Горелова // Русский медицинский журнал. – 2002. – № 4. – С. 19–21.

37. Результаты лечения детей с посттравматическими нейропатиями периферических нервов верхней конечности / А. А. Смирнов, В. В. Рыбченко, А. В. Александров [и др.] // Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии. – 2023. – Т. 13, № 2. – С. 147–160. – DOI: 10.17816/psaic1517.

38. Реконструкция магистральных артерий при ишемической контрактуре Фолькмана / М. Х. Маликов, К. П. Артыков, Г. М. Ходжамурадов [и др.] // Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии. – 1998. – № 3. – С. 93 – 94.

39. Реконструкция плечевой артерии при чрезмышечковых переломах

плечевой кости и вывихах предплечья / У. А. Курбанов, М. Х. Маликов, А.А. Давлятов [и др.] // *Ангиология и сосудистая хирургия*. – 2006. – № 3. – С. 138–143.

40. Роль электронейромиографии в оценке прогноза восстановления у детей с акушерским повреждением плечевого сплетения в практике специализированного центра / М. Л. Новиков, Д. С. Дружинин, В. А. Буланова, Т. Э. Торно // *Нервно-мышечные болезни*. – 2014. – № 4. – С. 20–31. – DOI: 10.17650/2222-8721-2014-0-4-20-31.

41. Романова, М. Н. Опыт ультразвуковой диагностики повреждений нервов верхней конечности у детей / М. Н. Романова, В. И. Зорин, Н. Г. Жила // *Детская хирургия*. – 2012. – № 3. – С. 34–37.

42. Салтыкова, В. Г. Нормальная эхографическая картина периферических нервов / В. Г. Салтыкова // *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. – 2007. – № 3. – С. 74–81.

43. Сапин, М. Р. *Анатомия человека: учебник: в 2 томах. Т. 1* / М. Р. Сапин, Д. Б. Никитюк, В. С. Ревазов; под ред. акад. М. Р. Сапина. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 2001. – 640 с.

44. Скоромец, А. А. *Топическая диагностика заболеваний нервной системы: руководство для врачей* / А. А. Скоромец, А. П. Скоромец, Т. А. Скоромец. – 5-е изд., стер. – СПб.: Политехника, 2007. – 399 с.

45. Современные технологии медицинской реабилитации детей с посттравматическими нейропатиями верхних конечностей / М. А. Хан, Е. Л. Вахова, А. В. Александров [и др.] // *Вестник восстановительной медицины*. – 2021. – Т. 20, № 4. – С. 72–81.

46. Сыса, Н.Ф. О предупреждении осложнений при лечении переломов в области локтевого сустава у детей / Н.Ф. Сыса, Ю.В. Горбачев // *Стандарты технологии специализированной помощи детям при повреждениях и заболеваниях опорно-двигательного аппарата: Материалы совещания детских травматологов-*

ортопедов России (Ростов-на-Дону, 16-17 сентября 1999 г.). – СПб., 1999. – С. 28–29.

47. Сыса, Н. Ф. Ошибки и осложнения при диагностике и лечении повреждений локтевого сустава у детей / Н. Ф. Сыса // Ошибки и осложнения диагностики и лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата у детей: сборник научных трудов. – Л., 1986. – С. 54–62.

48. Ультразвуковая диагностика патологии сухожилий и нервов конечностей / В. Г. Голубев, И. Ю. Насникова, Н. А. Еськин [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2004. – № 3. – С. 3–11.

49. Цимбалюк, В. И. Особенности хирургического лечения травматического повреждения периферических нервов / В. И. Цимбалюк, И. Б. Третьяк, Г. М. Каддум // Вестник научных исследований. – 1997. – Т. 8, № 4-5. – С. 49–51.

50. Шевелев, И. Н. Микрохирургия периферических нервов / И. Н. Шевелев. – М.: Антидор, 2011. – 304 с.

51. Эхография нервов, сухожилий и связок / Н. А. Еськин, В. Г. Голубев, Д. Р. Богдашевский [и др.] // SonoAce International. – 2005. – № 13. – С. 82–94.

52. A comparative study of two percutaneous pinning techniques (lateral vs medial-lateral) for Gartland type III pediatric supracondylar fracture of the humerus / K. Prashant, D. Lakhotia, T. D. Bhattacharyya [et al.] // Journal of Orthopaedics and Traumatology. – 2016. – Vol. 17, № 3. – P.223–229. – DOI: 10.1007/s10195-016-0410-2.

53. Advances in the neurological and neurosurgical management of peripheral nerve trauma / N. G. Simon, R. J. Spinner, D. G. Kline, M. Kliot // Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry. – 2016. – Vol. 87, № 2. – P. 198–208. – DOI: 10.1136/jnnp-2014-310175.

54. Age dependent development of chronic neuropathic pain, allodynia and sensory recovery after upper limb nerve injury in children / D. D. Atherton, O. Taherzadeh, D. Elliot, P. Anand // Journal of Hand Surgery (European Volume). – 2008. – Vol 33, № 2. – P. 186–191. – DOI: 10.1177/ 1753193408087029.

55. Anastomosis between median nerve and ulnar nerve in the forearm /

M. M. Felipe, F. L. Telles, A. C. L. Soares [et al.] // *Journal of Morphological Sciences*. – 2012. – Vol. 29, № 1. – P. 23–26.

56. Babal, J. C. Nerve injuries associated with pediatric supracondylar humeral fractures: a meta-analysis / J. C. Babal, C. T. Mehlman, G. Klein // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2010. – Vol. 30, № 3. – P. 253–263. – DOI: 10.1097/BPO.0b013e3181d213a6.

57. Barrios, C. Surgical management of nerve injuries of the upper extremity in children: a 15-year survey / C. Barrios, J. de Pablos // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 1991. – Vol. 11, № 5. – P. 641–645.

58. Birch, R. *Surgical disorders of peripheral nerves* / R. Birch. – 2nd ed. – London: Springer-Verlag, 2011. – 645 p.

59. Brown, I. C. Traumatic and iatrogenic neurological complications after supracondylar humerus fractures in children / I. C. Brown, D. M. Zinar // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 1995. – Vol. 15, № 4. – P. 440–443. – DOI: 10.1097/01241398-199507000-00005.

60. Campbell, W. W. Evaluation and management of peripheral nerve injury / W.W. Campbell // *Clinical Neurophysiology*. – 2008. – Vol. 119, № 9. – P. 1951–1965. – DOI: 10.1016/j.clinph.2008.03.018.

61. Can imaging be the new yardstick for diagnosing peripheral neuropathy? A comparison between high resolution ultrasound and MR neurography with an approach to diagnosis / A. Agarwal, A. Chandra, U. Jaipal [et al.] // *Insights into Imaging*. – 2019. – Vol. 10, № 1. – Art. 104. – DOI: 10.1186/s13244-019-0787-6.

62. Canale, S. T. *Fractures and dislocations in children* / S. T. Canale // *Campbell's Operative Orthopaedics* / ed. S. T. Canale. – 9th ed. – St. Louis: Mosby-Yearbook, 1998. – P. 2363–2536.

63. Cheng, J. C. Y. Closed reduction and percutaneous pinning for type III displaced supracondylar fractures of the humerus in children / J. C. Y. Cheng, T. P. Lam, W. Y. Shen // *Journal of Orthopaedic Trauma*. – 1995. – Vol. 9, № 6. – P. 511–515. – DOI: 10.1097/00005131-199509060-00009.

64. Electrophysiological study of anomalous innervation of intrinsic hand muscles

/ J. Kimura, M. J. Murphy, D. J. Varda, M. W. Van Allen // Transactions of the American Neurological Association. – 1976. – Vol. 33, № 12. – P. 842–844. – DOI: 10.1001/archneur.1976.00500120046007.

65. Esslen, E. Electrodiagnosis of facial palsy / E. Esslen // Surgery of the Facial Nerve / ed. A. Miehke. – Pennsylvania: W.B. Saunders, 1973. – P. 45–51.

66. Farnsworth, C. L. Etiology of supracondylar humerus fractures / C. L. Farnsworth, P. D. Silva, S. J. Mubarak // Journal of Pediatric Orthopaedics. – 1998. – Vol. 18, № 1. – P. 38–42.

67. Fowles, J. V. Displaced supracondylar fractures of the elbow in children. A report on the fixation of extension and flexion fractures by two lateral percutaneous pins / J. V. Fowles, M. T. Kassab // Journal of Bone and Joint Surgery (British volume). 1974. – Vol. 56B, № 3. – P. 490–500.

68. Fracture stability after pinning of displaced supracondylar distal humerus fractures in children / J. E. Gordon, C. M. Patton, S. J. Luhmann [et al.] // Journal of Pediatric Orthopaedics. – 2001. – Vol. 21, № 3. – P. 313–318.

69. Gorsché, R. Carpal tunnel syndrome / R. Gorsché // The Canadian Journal of CME. – 2008. – № 2. – P. 51–54.

70. Green, N. E. Fractures and dislocations about the elbow / N. E. Green, N. L. Van Zeeland // Skeletal Trauma in Children / eds.: N. E. Green, M. F. Swiontkowski. – Philadelphia: Saunders Elsevier, 2009. – P. 211–212.

71. Herring, J. A. Tachdjian's Pediatric Orthopaedics: From the Texas Scottish Rite Hospital for Children / J. A. Herring. – Philadelphia: Saunders Elsevier, 2008. – 2952p.

72. Holland, N. R. Intraoperative electromyography / N. R. Holland // Journal of Clinical Neurophysiology. – 2002. – Vol. 19, № 5. – P. 444–453. – DOI: 10.1097/00004691-200210000-00007.

73. Imaging of the Peripheral Nerve: Concepts and Future Direction of Magnetic Resonance Neurography and Ultrasound / R. E. Holzgrefe, E. R. Wagner, A. D. Singer, C. A. Daly // Journal of Hand Surgery (American Volume). – 2019. – Vol. 44, № 12. – P. 1066–1079. – DOI: 10.1016/j.jhssa.2019.06.021.

74. Impact of neurologic signs and symptoms on functional status in peripheral neuropathies / D. S. Molenaar, M. Vermeulen, M. de Visser, R. de Haan // *Neurology*. – 1999. – Vol. 52, № 1. – P. 151–156. – DOI: 10.1212/wnl.52.1.151.

75. Intraoperative arthrography monitoring assisted closed reduction and internal fixation for intercondylar fracture of humerus in children / W. Gong, J. S. Wang, B. Z. Li [et al.] // *China Journal of Orthopaedics and Traumatology*. – 2021. – Vol. 34, № 9. – P. 856–860. – DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2021.09.013.

76. Intraoperative neuromonitoring / A. K. Wong, J. L. Shils, S. B. Sani, R. W. Byrne // *Neurologic Clinics*. – 2022. – Vol. 40, № 2. – P. 375–389. – DOI: 10.1016/j.ncl.2021.11.010.

77. Intraoperative spinal cord and nerve root monitoring: a survey of Canadian spine surgeons / L. Peeling, S. Hentschel, R. Fox [et al.] // *Canadian Journal of Surgery*. – 2010. – Vol. 53, № 5. – P. 324–328.

78. IOM during decompression of nervus ulnaris in the area of canalis cubitalis / O.N. Dubrovina, A. G. Fedyakov, O. N. Dreval, A. V. Gorozhanin // *The twelfth international conference: High medical technologies in XXI century (Benidorm, 19-26 October, 2013)*. – Benidorm: MedSi, 2013. – P. 89–92.

79. Kasser, J. R. Supracondylar fractures of the distal humerus / J. R. Kasser, J. H. Beaty // *Rockwood and Wilkins' Fractures in Children*. – Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, 2006. – P. 543–589.

80. Kayamori, R. Electrodiagnosis in Martin– Gruber anastomosis / R. Kayamori // *Journal of Japanese Orthopaedic Surgical Society*. – 1987. – Vol. 61, № 12. – P. 1367–1372.

81. Khaled, S.-S. Studies in carpal tunnel syndrome and cold intolerance. DM thesis / S.-S. Khaled. – Nottingham: University of Nottingham, 2008. – 208 p.

82. Lee, H.-Y. Treatment of displaced supracondylar fractures of the humerus in children by a pin leverage technique / H.-Y. Lee, S.-J. Kim // *Journal of Bone and Joint Surgery (British Volume)*. – 2007. – Vol. 89, № 5. – P. 646–650. – DOI: 10.1302/0301-620X.89B5.18224.

83. Lipscomb, P. R. Vascular and neural complications in supracondylar fractures

of the humerus in children / P. R. Lipscomb // *Journal of Bone and Joint Surgery (American Volume)*. – 1955. – Vol. 37-A, № 3. – P. 487–492.

84. Malessy, M. J. Electromyography, nerve action potential, and compound motor action potentials in obstetric brachial plexus lesions: validation in the absence of a “gold standard” / M. J. Malessy, W. Pondaag, J. G. van Dijk // *Neurosurgery*. – 2009. – Vol. 65, № 4 Suppl. – P. 153–159. – DOI: 10.1227/01.NEU.0000338429.66249.7D.

85. Median and ulnar nerve communication in the forearm: an anatomical and electrophysiological study / L. Sarikcioglu, M. Sindel, S. Ozkaynak, H. Aydin // *Medical Science Monitor*. – 2003. – Vol. 9, № 9. – P. 351–356.

86. Megerle K, Peripheral Nerve Surgery / Megerle K, Bahm J. // *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 2024 Feb;56(1):6. doi: 10.1055/a-2168-2239

87. Mubarak, S. J. Closed reduction and percutaneous pinning of supracondylar fractures of the distal humerus in the child / S. J. Mubarak, J. R. Davids // *The elbow* / ed. B. F. Morrey. – New York: Raven Press, 1994. – P. 37–51.

88. Narakas, A. Surgical treatment of traction injuries of the brachial plexus / A. Narakas // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. – 1978. – Vol. 133. – P. 71–90.

89. Nerve injuries associated with supracondylar fractures of the humerus in children: our experience in a specialist peripheral nerve injury unit/ I. H. Y. Kwok, Z. M. Silk, T. J. Quick [et al.] // *Journal of Bone and Joint Surgery* -2016. – 98-B:851-6 DOI: 10.1302/0301-620X.98B6.35686

90. Neural injuries associated with supracondylar fractures of the humerus in children / R. W. Culp, A. L. Osterman, R. S. Davidson [et al.] // *Journal of Bone and Joint Surgery (American Volume)*. –1990. – Vol. 72, № 8. – P. 1211–1215.

91. Neurologic complications stemming from displaced supracondylar fractures and from the treatment of these fractures in children / W. L. Hennrikus, T. O’Brien, J. Champa [et al.] // *Orthopaedic Transactions*. – 1993. – Vol. 16. – P. 818.

92. Neurovascular complications and severe displacement in supracondylar humerus fractures in children: defensive or offensive strategy? / D. M. Louahem, A. Nebunescu, F. Canavese, A. Dimeglio // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2006. – Vol. 15, № 1. – P. 51–57. – DOI: 10.1097/01202412-200601000-00011.

93. Neurovascular injury and displacement in type III supracondylar humerus fractures / C. C. Campbell, P. M. Waters, J. B. Emans [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 1995. – Vol. 15, № 1. – P. 47–52. – DOI: 10.1097/01241398-199501000-00011.
94. Operative management of upper extremity fractures in children / ed. K. E. Wilkins. – Rosemont: American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1994. – 112 p.
95. Ottolenghi, C. E. Acute ischemic syndrome, Its treatment, Prophylaxis of Volkmann's syndrome / C. E. Ottolenghi // *American journal of orthopedics*. – 1960. – Vol. 2. – P. 312–315.
96. Percutaneous pinning of pediatric supracondylar humerus fractures with the semisterile technique: the Miami experience / C. A. Iobst, C. Spurdle, W. F. King, M. Lopez // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2007. – Vol. 27, № 1. – P. 17–22. – DOI: 10.1097/bpo.0b013e31802b68dc.
97. Peripheral nerve injuries in children-prevalence, mechanisms and concomitant injuries: a major trauma center's experience / M. Aman, K. S. Zimmermann, A. H. Boecker [et al.] // *European Journal of Medical Research*. – 2023. – Vol. 28, № 1. – Art. 116. – DOI: 10.1186/s40001-023-01082-x.
98. Pirone, A. M. Management of displaced extension-type supracondylar fractures of the humerus in children / A. M. Pirone, H. K. Graham, J. I. Krajbich // *Journal of Bone and Joint Surgery (American Volume)*. – 1988. – Vol. 70, № 5. – P. 641–650.
99. Price, C. T. Management of Fractures / C. T. Price, J. M. Flynn // *Lovell and Winter's Pediatric Orthopaedics* / eds.: R. T. Morrissay, S. L. Weinstein. – Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, 2006. – P. 1449–1458.
100. Risk of ulnar nerve injury during cross-pinning in supine and prone position for supracondylar humeral fractures in children: a recent literature review / N. Catena, M.G. Calevo, D. Fracassetti [et al.] // *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*. – 2019. – Vol. 29, № 6. – P. 1169–1175. – DOI: 10.1007/s00590-019-02444-0.
101. Ristic, S. The assessment and treatment of nerve dysfunction after trauma around the elbow / S. Ristic, R. J. Strauch, M. P. Rosenwasser // *Clinical Orthopaedics*

and Related Research. – 2000. – Vol. 370. – P. 138–153. – DOI: 10.1097/00003086-200001000-00013.

102. Robinson, L. R. Predicting recovery from peripheral nerve trauma / L. R. Robinson // *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. – 2018. – Vol. 29, № 4. – P. 721–733. – DOI: 10.1016/j.pmr.2018.06.007.

103. Seddon, H. *Surgical Disorders of peripheral nerve* / H. Seddon. – London: Churchill Livingstone, 1975. – 338 p.

104. Solutions to the Technical Challenges Embedded in the Current Methods for Intraoperative Peripheral Nerve Action Potential Recordings / G. Wu, A. Belzberg, J. Nance [et al.] // *Journal of Neurosurgery*. – 2019. – Vol. 133, № 3. – P. 884–893. – DOI: 10.3171/2019.5.JNS19146.

105. Srinivasan, R. The median-ulnar anastomosis (Martin–Gruber) in normal and congenitally abnormal fetuses / R. Srinivasan, J. Rhodes // *Archives of Neurology*. – 1981. – Vol. 38, № 7. – P. 418–419. – DOI: 10.1001/archneur.1981.00510070052007.

106. Stancic, M. F. Marinacci communication. Case report / M. F. Stancic, N. Burgic, V. Micovic // *Journal of Neurosurgery*. – 2000. – Vol. 92, № 5. – P. 860–862. – DOI: 10.3171/jns.2000.92.5.0860.

107. Stevenson, J. H. Upper limb motor and sensory recovery after multiple proximal nerve injury in children: a long term review in five patients / J. H. Stevenson, R. M. Zuker // *British Journal of Plastic Surgery*. – 1986. – Vol. 39, № 1. – P. 109–113. – DOI: 10.1016/0007-1226(86)90013-5.

108. Stewart, J. D. Peripheral nerve fascicles: anatomy and clinical relevance / J. D. Stewart // *Muscle Nerve*. – 2003. – Vol. 28, № 5. – P. 525–541. – DOI: 10.1002/mus.10454.

109. Strommen, J. A. Neurophysiology during peripheral nerve surgery / J. A. Strommen, S. Skinner, B. A. Crum // *Handbook of Clinical Neurology*. – 2022. – Vol. 186. – P. 295–318. – DOI: 10.1016/B978-0-12-819826-1.00022-3.

110. Sunderland, S. A classification of peripheral nerve injuries producing loss of function / S. Sunderland // *Brain*. – 1951. – Vol. 74, № 4. – P. 491–516. – DOI: 10.1093/brain/74.4.491.

111. Surgical management of cubital tunnel syndrome: A systematic review and meta-analysis of randomized trials / E. Abourisha, A. S. Srinivasan, A. Barakat [et al.] // *Journal of Orthopaedics*. – 2024. – Vol. 53. – P. 41–48. – DOI: 10.1016/j.jor.2024.02.041.
112. Surgical outcomes of 654 ulnar nerve lesions / D. H. Kim, K. Han, R. L. Tiel [et al.] // *Journal of Neurosurgery*. – 2003. – Vol. 98, № 5. – P. 993–1004. – DOI: 10.3171/jns.2003.98.5.0993.
113. The use of intraoperative fascicle-topographic electromyography in peripheral nerve surgery: review of the literature and clinical experience / F. S. Frueh, R. Labèr, A. Schiller [et al.] // *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie*. – 2021. – Vol. 53, № 6. – P. 526–533. – DOI: 10.1055/a-1492-2802.
114. Unver, D. N. The communications between the ulnar and median nerves in upper limb / D. N. Unver, I. I. Uysal, M. Seker // *Neuroanatomy*. – 2009. – Vol. 8, № 1. – P. 15–19.
115. Williamson, D. M. Flexion supracondylar fractures of the humerus in children: Treatment by manipulation and extension cast / D. M. Williamson, W. G. Cole // *Injury*. – 1991. – Vol. 22, № 6. – P. 451–455. – DOI: 10.1016/0020-1383(91)90127-z.
116. Zalt, I. Ulnar nerve instability in children / I. Zalt, P. M. Waters, J. Kasser // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 1996. – Vol. 16, № 5. – P. 567–569. – DOI: 10.1097/00004694-199609000-00003.
117. Zelenski, N. A. Intraoperative neuromonitoring for peripheral nerve surgery / N. A. Zelenski, T. Oishi, A. Y. Shin // *Journal of Hand Surgery (American Volume)*. – 2023. – Vol. 48, № 4. – P. 396–401. – DOI: 10.1016/j.jhsa.2022.11.022.