

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РОССИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. И. ПИРОГОВА» МИНИСТЕРСТВА  
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

Смирнов Александр Андреевич

Диагностика и выбор метода лечения посттравматических нейропатий периферических нервов  
верхних конечностей

3.1.11 – детская хирургия

Диссертация  
на соискание учёной степени  
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:  
доктор медицинских наук,  
Рыбченко В.В.

Москва, 2025

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....	12
1.1 История хирургии периферических нервов.....	12
1.2 Эпидемиология и причины повреждений периферических нервов верхней конечности 16	
1.3 Патогенетическая классификация повреждений периферических нервов.....	19
1.4 Анатомия периферических нервов и патофизиология повреждений периферических нервов .....	20
1.4.1 Эволюция понимания строения нервной системы и дегенеративных процессов, развивающихся после повреждения стволов нервов .....	20
1.4.2 Современные представления о строении периферических нервов и патологических изменениях в нем после повреждения.....	23
1.5 Инструментальные методы диагностики.....	28
1.6 Консервативное лечение.....	30
1.7 Хирургическое лечение.....	34
1.8 Сроки оперативных вмешательств .....	35
1.8.1 Сроки оперативных вмешательств в возрасте старше 18 лет .....	35
1.8.2 Сроки оперативных вмешательств в возрасте до 18 лет .....	36
Глава 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ .....	38
2.1 Материал исследования.....	38
Общая характеристика .....	38
2.2 Методы обследования .....	44
2.2.1 Анамнестический .....	44
2.2.2 Рентгенологическое .....	47
2.2.3 Ультразвуковое исследование.....	47
2.2.4 Электромиография .....	47
2.2.5 Анкетирование и катamnестическое наблюдение.....	47
2.3 Оперативные вмешательства.....	48
2.4 Послеоперационный период .....	50
2.5 Оценка результатов .....	51
2.6 Статистическая обработка.....	52
Глава 3. МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ГРУПП ИССЛЕДОВАНИЯ.....	54
3.1 Анализ возрастных групп.....	54
3.2 Анализ групп в зависимости от уровня повреждения периферического нерва .....	58
3.3 Анализ групп в зависимости от оперативных вмешательств.....	62
3.4 Анализ групп по срокам оперативного вмешательства с момента травмы .....	65
3.4.1 Анализ групп в зависимости от сроков с момента травмы до оперативного вмешательства в ранний и поздний периоды .....	66

3.4.2 Анализ групп в зависимости от сроков с момента травмы до оперативного вмешательства.....	70
Глава 4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛЕЧЕНИЯ .....	74
4.1 Анализ влияния возраста на результаты лечения и скорость восстановления функции нерва .....	74
4.2 Сравнение результатов лечения и времени достижения удовлетворительных результатов в зависимости от уровня повреждения нервного ствола.....	84
4.4 Анализ влияния сроков с момента травмы до оперативного вмешательства на результаты лечения и время восстановления функции нерва .....	90
4.5 Оценка влияния реабилитационных мероприятий на результаты лечения детей с повреждениями периферических нервов .....	103
Глава 5. КЛИНИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ.....	106
5.1 Невролиз .....	106
5.2 Первичный шов.....	109
5.3 Аутоневральная пластика .....	110
Глава 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	112
ВЫВОДЫ.....	118
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	120
Список литературы .....	122

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Актуальность исследования**

Посттравматическая нейропатия – дисфункция периферических нервов, возникшая вследствие воздействия на нервный ствол травмирующего агента. В результате чего происходит нарушение двигательной и чувствительной иннервации того или иного сегмента конечности.

Хирургия периферических нервов является одной из наиболее молодых областей медицины. Несмотря на развитие технологий, внедрение микрохирургической техники, исход оперативных вмешательств на нервах не всегда приносит удовлетворение пациенту и хирургу.

Известно, что попытки восстановления периферических нервов предпринимались еще в древности, что было обусловлено травматизмом во время занятий охотой, а также частыми войнами. Можно проследить эволюцию лечебных подходов, начиная с попыток соединения концов нерва в ране и даже замещения искусственными материалами, вплоть до отказа от выполнения операции. В настоящее время применяются различные микрохирургические реконструкции, такие как аутоневральная пластика нервов, различные виды невротизации, используется феномен коллатерального спраутинга, а также применяются алло кондуиты в сочетании с факторами роста.

Несмотря на большие достижения в лечении детей с повреждениями периферических нервов, которые стали возможны благодаря революционным открытиям второй половины 20 века – появление операционного микроскопа, микрошовного материала и микроинструментов и их использование для оперативных вмешательств на нервах, достижение понимания тонких процессов регенерации нервного ствола, создание новых методик операций, данный вид повреждений до сих пор остаётся сложной задачей для специалистов. При этом, в случае неблагоприятного исхода лечения, пациент частично или полностью

утрачивает функцию конечности, и становится обременением для системы здравоохранения, обусловленным длительным сроком реабилитации, а порой и инвалидизацией больного.

По данным литературы, порядка 3% всех пациентов с тяжелыми травмами верхней конечности имеют повреждения периферических нервов [115]. Так, в обзоре травм верхней конечности в США в 2014 году, частота встречаемости повреждений периферических нервов составила 16.9 на 100000 человек [152]; в Швеции 13.9 на 100000 человек за период с 1998 по 2006 год [89]; в Южной Корее за период с 2008 по 2018 год было выявлено 1,58 миллионов случаев травм верхней конечности из них 5244 повреждений периферического нерва [59].

Повреждения периферических нервов в большей степени наблюдаются у взрослых пациентов (старше 18 лет), так как их образ жизни и условия труда более опасны, нежели ежедневная активность у детей.

При повреждениях периферических нервов у детей в ряде случаев наступает ранняя инвалидизация и нарушенная социализация, что в свою очередь повышает нагрузку на систему здравоохранения и экономику [88].

Наиболее часто повреждается локтевой нерв, затем срединный и лучевой нервы. Основными причинами повреждений периферических нервов являются воздействия колюще-режущими предметами, переломы костей и ятрогенные повреждения, доля которых увеличивается в структуре повреждений периферических нервов [14; 61; 85; 111; 116; 120; 159].

В зависимости от степени повреждения различают полные и частичные, локализованные и протяженные повреждения по длине нерва. В настоящее время общепризнана классификация повреждений нервов по Seddon-Sunderland, однако для клинической практики данная классификация не очень удобна, так как достоверно идентифицировать, какие структуры нервного волокна повреждены, можно только при гистологическом исследовании.

Все механизмы повреждения нервов можно разделить на 4 группы: 1) нарушение целостности нерва 2) Растяжение (тракция) нерва 3) Компрессия нерва 4) Контузия нерва [19]. Диагностика повреждений периферических нервов производится с помощью следующих методов: клинический осмотр, УЗИ, ЭНМГ.

В детской практике возможности микрохирургии периферических нервов изучены меньше, чем у взрослых. Остаются открытыми вопросы об оптимальных сроках оперативного лечения, пределах регенераторного потенциала аксонов, использовании различных трансплантатов и факторов, стимулирующих рост отростков нейронов (аксонов), в данной работе будут рассмотрены некоторые из них.

В настоящее время количество публикаций на тему посттравматических нейропатий конечностей у детей крайне немногочисленно. Большинство из них принадлежит зарубежным авторам.

### **Цель исследования**

Оптимизировать подход к хирургическому лечению детей с травматическими повреждениями нервов верхней конечности.

### **Задачи исследования**

1. Изучить этиологию острых повреждений нервов верхней конечности у детей разного возраста, выявить особенности, влияющие на тактику,
2. Провести анализ применяемых способов восстановления анатомической целостности крупных нервов верхней конечности и определить критерии их выбора,
3. Оценить эффективность хирургического лечения с помощью функциональных и квалитетрических методов с учетом давности и уровня повреждения, возраста пациента, а также определить влияние восстановительной терапии на сроки и полноту реабилитации,

4. Обосновать необходимость дифференцированного подхода к лечению пациентов детского возраста с повреждениями крупных нервов верхних конечностей и предложить улучшенный лечебно-диагностический алгоритм;

### **Материал и методы исследования**

В работе проанализированы результаты лечения 114 детей с повреждениями периферических нервов верхней конечности, проходивших лечение в ДГКБ им. Н. Ф. Филатова с 2017 по 2021 годы в возрасте от 5 до 17 лет. Проведение диссертационного исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава РФ.

### **Научная новизна**

Впервые в детской хирургии выявлены и систематизированы главные факторы, определяющие выбор хирургической тактики и влияющие на функциональный исход при повреждении крупных нервов верхней конечности.

Травматическое воздействие острых предметов является основной причиной повреждения крупных нервов у детей. У пациентов младше 11 лет переломы костей и ятрогенная травма являются более частыми причинами повреждения нервов, чем в других возрастных группах.

Установлено, что вероятность выполнения шва нерва конец-в-конец снижается с увеличением давности травмы. При давности более 6 месяцев требуется проведение неврилиза и аутоневральной пластики.

Доказана необходимость послеоперационного восстановительного лечения для всех пациентов с повреждением крупных нервов верхних конечностей, которое позволяет снизить срок реабилитации и улучшить функциональные результаты.

Определена зависимость между уровнем повреждения нерва и длительностью реабилитации. Установлено, что при повреждении, расположенном дистальнее, реабилитация занимает меньше времени, чем при проксимальных повреждениях.

### **Практическая значимость**

Разработанные показания к оперативным вмешательствам на нервных стволах позволяют выполнять реконструктивные операции на нервах при их повреждениях даже при больших сроках от момента травмы и получать удовлетворительные результаты, таким образом восстанавливая функцию верхней конечности и улучшая качество жизни пациентов.

Учитывая данные исследования, можно ожидать улучшение качества медицинской помощи, оставляя возможность восстановить нормальную анатомию, избавив пациентов от сложных оперативных вмешательств и более длительного реабилитационного периода.

Сформулированные уточненные показания к оперативным вмешательствам на нервных стволах значительно удлиняют сроки от момента травмы, когда реконструктивная операция на стволе нерва все еще позволяет получить позитивные результаты восстановления функций верхней конечности и улучшения качества жизни пациента.

Учитывая полученные данные исследования, можно ожидать улучшение качества специализированной медицинской помощи у этих больных с одномоментным восстановлением нормальной интраневральной топографии, что позволяет избежать повторных операций и длительного реабилитационного периода.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Выявлен фактор, влияющий на длительность и качество восстановления функции поврежденного нерва – возраст, дети старше 11 лет имеют более длительное и менее качественное восстановление функции нерва,
2. Срок с момента травмы до оперативного вмешательства влияет и на длительность, и на качество восстановления, однако у детей возможно удовлетворительное восстановление функции поврежденного нерва на сроках более 12 месяцев,



3. Выполнение оперативных вмешательств, направленных на восстановление целостности нервного ствола на сроке более 12 месяцев, позволяют достичь удовлетворительных результатов и как следствие избежать сложных реконструктивных операций – мышечно-сухожильных пластик с длительным реабилитационным периодом и недостаточным восстановлением функции,
4. Структура повреждений определяет методы лечения, длительность реабилитации и исход;

### **Внедрение в практику**

Разработанный алгоритм ведения детей с повреждениями периферических нервов введен в практику отделения микрохирургии ГБУЗ ДГКБ им. Н. Ф. Филатова ДЗМ и отделения реконструктивно-пластической хирургии РДКБ – филиал ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н. И. Пирогова.

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 3 печатные работы - статьи в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ:

1. Смирнов А.А., Александров А.В., Гончарук П.В., Рыбченок В.В., Хагуров Р.А. Результаты хирургического лечения травматических повреждений локтевого, срединного и лучевого нервов у детей: систематический обзор и метаанализ. // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии Том 25, №4 2022 с. 6-14. <https://doi.org/10.52581/1814-1471/83/01>

2. Хан М.А., Вахова Е.Л., Александров А.В., Турова Е.А., Гусакова Е.В., Смирнов А.А. Современные технологии медицинской реабилитации детей с посттравматическими нейропатиями верхних конечностей // Вестник восстановительной медицины Том 20, №46 2021, с. 72-81. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-4-72-81>

3. Смирнов А.А., Рыбченко В.В., Александров А.В., Гончарук П.В., Идрис Л.Я., Хагуров Р.А., Евдокимов А.Н., Князева Н.А. Результаты лечения детей с посттравматическими нейропатиями периферических нервов верхней конечности. Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и

реаниматологии // Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии Том 13, №2, 2023, с. 147-160. <https://doi.org/10.17816/psaic1517>

### **Апробация работы**

Основные положения диссертации доложены на:

- конференции молодых ученых на VIII Форуме детских хирургов России с международным участием
- конференции молодых ученых на IX Междисциплинарной международной конференции: «Актуальные вопросы микрохирургии». Памяти Н.О. Миланова.
- конференции молодых ученых на XII Всероссийском съезде травматологов-ортопедов
- XXVIII (61- ая) Российская научная студенческая конференция "Актуальные вопросы хирургии, анестезиологии и реаниматологии детского возраста", посвящённая 100-летию со дня рождения профессора, члена-корреспондента РАН и АМН СССР Гирея Алиевича Баирова
- Международная 76-ая научно-практическая конференция "Достижения фундаментальной, прикладной медицины и фармации"
- IX Форуме детских хирургов России с международным участием

### **Личный вклад**

Автор составил план исследования, определил цель и задачи исследования, сформировал дизайн исследования. Выполнил анализ отечественной и зарубежной литературы, сбор данных исследования, систематизация и анализ полученных результатов с статистической обработкой данных. Участвовал в оперативных вмешательствах, выполнял некоторые оперативные вмешательства самостоятельно. Диссертант подготовил доклады и выступил с апробацией результатов на конференциях, написал текст публикаций и текст диссертации и автореферата. Автор сформулировал выводы и практические рекомендации и научно их обосновал.

### **Соответствие диссертации паспорту научных специальностей**

Научные положения, изложенные в диссертации, полностью соответствуют паспорту специальности 3.1.11 – детская хирургия. Результаты

проведённого исследования соответствуют области исследования специальности 3.1.11 – детская хирургия, согласно пунктам 1, 2, 3.

### **Объем и структура работы**

Диссертация изложена на 141 странице текста и содержит введение, 6 глав, посвященных: обзору литературы, материалам и методам исследования, многофакторному анализу, анализу результатов лечения, клиническим наблюдениям и заключению, а также: выводы, практические рекомендации, список сокращений и условных обозначений, список используемой литературы, приложения. Работа иллюстрирована 71 рисунком, 12 таблицами. Указатель использованной литературы содержит 163 источников, из них 144 иностранных и 19 отечественных авторов.

## Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1 История хирургии периферических нервов

Посттравматическая нейропатия – дисфункция периферических нервов, возникшая вследствие воздействия на нервный ствол травмирующего агента. В результате чего происходит нарушение двигательной и чувствительной иннервации того или иного сегмента конечности.

История вмешательств на периферических нервах тесно связана с историей оперативного восстановления сухожилий [6]. Так, Гиппократ не разделял между собой сухожилия и нервы. Переломным моментом для развития хирургии периферических нервов и понимания причин неудач при восстановлении сухожилий и нервов стало исследование Nimophilus, в котором автор дифференцировал сухожилия и нервы, выявив соединение нервов со спинным мозгом [141]. Долгое время хирурги использовали неверные данные на основании суждений Галена. Так как сухожилия и нервы располагаются зачастую вблизи друг от друга, а также располагаются в непосредственной близости от мышц, он считал их одной и той же структурой. В своем труде «Ars Parva» («Малое искусство») Гален описывал «ужасные» последствия восстановления сухожилия. И часто такие процедуры приводили к хроническому болевому синдрому, судорогам и гангрене [7]. В его фундаментальном труде «On the Usefulness of the Parts of the Body» («О назначении частей тела»), которая стала анатомическим руководством для хирургов на протяжении многих лет несмотря на то, что все описания были сделаны на животных, так как секция человеческого тела была запрещена римским правом. В подтверждение мысли Галена выступил Амбруаз Паре, который опубликовал наблюдение повреждения нерва скальпелем у Карла IX. В связи с этим операции по восстановлению периферических нервов не выполнялись в Европе практически вплоть до XIV-XVI веков.

Однако, европейские влияния в то время были не настолько сильны на Востоке, поэтому под влияние теорий Галена восточные страны не попали. В те

времена на Востоке шов нерва выполняли такие хирурги, как Авиценна и Разес, однако исход этих вмешательств не известен.

Итальянские хирурги высоко оценивают вклад в развитие хирургии периферических нервов своего соотечественника Gabriele Ferrare, который в 1596 году описал технику хирургического восстановления целостности поврежденного нерва, которая практически не отличалась от современной. Ее суть заключалась в следующем – деликатное выделение концов нервов, их сшивание, с предварительной обработкой шовного материала отваром красного вина с травами, покрытие места шва специальными маслами, а также иммобилизация конечности [24].

В 1752 году швейцарский врач Albrecht von Haller выявил гистологическое различие между сухожилием и периферическим нервом. 43 года спустя в 1795 году впервые были описаны результаты реиннервации после шва нерва. Эти события стали первыми шагами к развитию осмысленной хирургии периферических нервов.

В XIX веке отмечается значительно большее количество публикаций, которые свидетельствуют о бурном развитии хирургии периферических нервов. Однако достоверность публикаций тех времен является спорной ввиду их низкой аргументированности и обоснованности.

В конце XVIII - начале IX века общепринятым было мнение, что восстанавливать поврежденные нервы не стоит, так как функция нерва восстанавливается самопроизвольно. В 1819 году Josef Swan, британский учёный и врач, экспериментально доказал возможность регенерации периферических нервов [20; 64; 145]. В 1820 году Swan получил признание Королевского колледжа за свою работу о лечении болезненных поражений нервов. В дальнейшем его стали цитировать как научного деятеля, который утверждал, что нервы растут сами собой. В действительности, им были выдвинуты важные утверждения, которым не было оказано должное внимание. Он отмечал, что необходимо большое количество времени для восстановления функции нерва после его повреждения. Также, восстановление функции было возможно только

тогда, когда нерв был поврежден частично или почти отсутствовал диастаз между его концами. Тем не менее в статьях цитировались его высказывания, свидетельствующие от том, что функция зачастую может восстанавливаться самопроизвольно после повреждения периферического нерва.

В дальнейшем были описаны способ наложения эпиневрального шва и его основоположником считается С. Hueter (1873), который описал и внедрил в практику основные принципы первичного эпиневрального шва. Некоторые авторы оспаривают пионерство Hueter. Так С. Novak считает, что Р. Aegina впервые описал сопоставление концов поврежденного нерва при сближении краев раны, а первое описание вторичного шва нерва принадлежит французскому хирургу А. Nelaton в 1864 году. В России первое упоминание восстановления поврежденного срединного нерва принадлежит Н.В. Склифосовскому в 1881 году [7; 42]. В 1864 году французский хирург August Nelaton сделал еще один шаг в хирургии периферических нервов описав вторичный шов нерва. Также были предложены довольно радикальные и травматические операции для восстановления периферических нервов, так Loebke в 1884 году предложил для уменьшения натяжения шва нерва выполнять укорочение костей сегмента конечности [7].

Когда были разработаны концепции первичного и вторичного шва нерва, на повестке оставалась не решенной проблема восстановления нерва при наличии его дефекта и невозможности выполнения первичного или вторичного шва. Решение данной проблемы произошло в конце 19 века в период с 1870 по 1900 годы, когда была описана аутоневральная пластика нерва, которая и в настоящее время считается «золотым стандартом» [17]. Пионерами аутоневральной пластики считаются J.M. Philipeaux, A. Vulpien, которые в 1870 году выполнили аутоневральную пластику дефекта подъязычного нерва у собаки аутологичным язычным нервом [54; 95]. Однако, в начале разработки методики пластического замещения дефектов нервных стволов хирурги столкнулись с проблемой – использование для пластики “толстых” нервных стволов. Было выявлено, что они неудовлетворительно реваскуляризируются и эффект от

операции был неблагоприятным. Поэтому начали использовать аутоневральные “тонкие” трансплантаты, которые лучше приживались. Автором применения “тонких” трансплантатов по мнению Н. Millesi, считается Seddon. Millesi с соавторами первым стал использовать правило трех М (микроскоп, микроинструменты, микрохирургический шовный материал) при выполнении аутоневральной пластики и доказал, что результаты при использовании увеличения и микрохирургической техники при выполнении этой операции лучше, чем результаты эпиневрального шва, наложенного с натяжением [107; 108]. В это же время был предложен шов нерва конец-в-бок для восстановления функции нервов. Despres в 1876 году первым описал данный вариант лечения, во время операции он выполнил шов конец-в-бок дистального конца срединного нерва в неповрежденный локтевой нерв.

Аутоневральная пластика подразумевает использование собственных нервных трансплантатов, таким образом в том или ином локусе человеческого тела возникает дефицит (в основном чувствительной) иннервации. Также в конце 19 века, был предложен новый метод восстановления нервов при наличии их дефектов – применение полого проводника (кондуита), который способствовал направлению регенерирующих аксонов из проксимальной культи в сторону дистального конца. Первым материалом для этого послужила - декальцинированная кость. Авторство этой операции принадлежит Т. Gluck, который в 1880 году выполнил ее, однако результат оказался неудачным, так как был выявлен выраженный рубцовый процесс. Первые успехи подобной операции появились у С. Vanlair, в 1882 он выполнил замещение дефекта нерва длиной 3 см у собаки с помощью декальцинированной кости [86; 87]. В дальнейшем предлагались различные варианты кондуитов для замещения дефектов нервного ствола. Однако несмотря на то, что были работы, в которых были достигнуты хорошие результаты при использовании кондуитов, разница в результатах по сравнению с аутоневральной пластикой была, причем в худшую сторону и эти операции были на время забыты. Новый виток всплеска интереса к нервным кондуитам датируется концом 20 века. Так в 1980 годы Chiu выполнил

ряд экспериментов на животных, а потом доказал эффективность кондуитов в клинических исследованиях [42]. В дальнейшем были изобретены различные биологические и синтетические кондуиты. Основными проблемами искусственных кондуитов это высокая стоимость и отсутствие Шванновских клеток, которые выделяют факторы роста и способствуют росту аксонов в нужном направлении. По этим причинам их применение ограничено и может осуществляться только при небольших дефектах нерва.

В настоящее время техники, предложенные более 100 лет назад, продолжают совершенствоваться: разрабатываются кондуиты из новых инновационных материалов, изучается влияние на регенерацию местных нейротрофических факторов и возможности их использования для достижения оптимального результата.

## **1.2 Эпидемиология и причины повреждений периферических нервов верхней конечности**

Не смотря на большие достижения в лечении повреждений периферических нервов, которые стали возможны благодаря революционным открытиям второй половины XX века, повреждения периферических нервов до сих пор остаются большим вызовом как для пациента, который утрачивает функцию конечности, так и для системы здравоохранения, обусловленный длительным сроком реабилитации, а иногда и инвалидизацией больного. Повреждения периферических нервов могут вызывать хронический болевой синдром, инвалидность и отдаленные отрицательные эффекты на повседневную жизнь, досуг, профессиональное развитие и образование. Все это и объясняет актуальность данной проблемы [22; 39; 53; 56; 81; 131].

В 2014 году в Соединенных Штатах Америки было проведено исследование в результате которого было выявлено то, что средняя заболеваемость по нозологии “повреждение периферических нервов” составила 16.9 на 100000 человек [152]. В Швеции за период с 1998 по 2006 годы заболеваемость составила 13.9 на 100000 человек [89]. В многоцентровом



исследовании в Германии за период с 2002 по 2015 годы повреждения периферических нервов были выявлены в 3.3% от всех случаев тяжелой травмы [115].

В другом исследовании в США были получены следующие данные – 5244 повреждения периферических нервов из 1.58 миллионов травм верхней конечности. Средний возраст составляет 38,42 года, при этом большинство пациентов были мужчинами – 68.2%. Такие же данные приводят ряд авторов, подчеркивая, их экономической значимость, что приводит к неисчислимым потерям личного дохода и снижению качества жизни [52; 82; 117; 156].

Наиболее часто повреждению подвергался локтевой нерв – 3,86 на 100000, следующий по частоте пальцевой нерв – 2.96 на 100000, лучевой нерв – 2.9 на 100000, срединный нерв 2.01 на 100000. Наиболее распространенным механизмом травмы были резаные раны, полученные острым предметом (29.2%), следующим по частоте были травмы в результате падения и удара (14.8 и 7.2%). Вероятность повреждения периферических нервов была в 2.15 раза выше у мужчин по сравнению с женщинами, а вероятность повреждения нескольких нервов в 6.25 раз [152].

В 2007 году Eser F., Aktekin L.A. с соавторами исследовали 938 пациентов с травмами периферических нервов и нервных сплетений [61]. В результате было выявлено 1165 случаев повреждений периферических нервов, чаще всего травматизации подвергались нервы верхней конечности: локтевой (27%), срединный (21,9%) и лучевой (21%). Наиболее частыми причинами повреждения нервов являлись дорожно-транспортные происшествия (26,9%), резаные раны и проникающие ранения (16,1%), раны, причиненные осколками стекла (15,1%), ятрогенные повреждения (10,6%), огнестрельные ранения (7,6%), падения с высоты (7,4%). В 2017 году Kouyoumdjian J.A., Graça C.R. и Ferreira V.F. провели ретроспективный анализ 1124 историй болезней пациентов с травмами периферических нервов, при этом причины повреждений удалось установить только у 866 пациентов [97]. Согласно результатам их работы, главными

причинами повреждения периферических нервов являются дорожно-транспортные происшествия (46,4%), проникающие ранения (23,9%) и падения (10,9%). Следующими по значимости причинными факторами являются огнестрельные ранения (6,6%) и спортивные травмы (2,4%). Стоит отметить, что в данном исследовании повреждения нервов верхней конечности составляли больше половины всех анализируемых случаев. При сопоставлении данных, полученных с интервалом в 10 лет, становится ясным, что основные этиологические факторы повреждения периферических нервов остаются неизменными, а частота травм нервов верхней конечности значительно превышает травматизацию нервов нижней конечности. Что касается эпидемиологии и этиологии в детской популяции, её структура менее изучена в сравнении с взрослым населением. В 2014 году Missios S., Bekelis K. и Robert J. Spinner в своей работе выявили, что из 245 470 детей, обратившихся в травматологические пункты, повреждения периферических нервов имели 1386 пациентов (0,56%), периферические нервы верхней конечности при этом составляли 992 случая (71,5%) [111]. При этом в качестве основной причины, приводящей к повреждениям периферических нервов, названы дорожно-транспортные происшествия (в том числе случаи, когда ребёнок управлял велосипедом или был пешеходом).

Частой причиной повреждения нервов у детей являются резаные раны, нанесённые разбитым стеклом и другими острыми предметами [159]. Также повреждения периферических нервов могут сопутствовать переломам и вывихам [85; 116].

В работе отечественных учёных Хан М.А., Ваховой Е.Л., Александрова А.В. и других ведущим этиологическим фактором, приводящим к травмам нервов верхней конечности у детей, являются переломы длинных трубчатых костей (10-12%) [14]. Авторы акцентируют внимание на росте количества ятрогенных повреждений нервов, связанном с увеличением использования малоинвазивного остеосинтеза для лечения детей с переломами.

Такие показатели как эпидемиологические особенности, характер травм, а также причины повреждений различаются из-за ряда социально-экономических факторов [59].

### **1.3 Патогенетическая классификация повреждений периферических нервов**

Наиболее известной классификацией повреждений периферических нервов является классификация H.J. Seddon и S.A. Sunderland. В 1943 году Herbert Seddon описал три типа повреждения нервов: нейропраксию – минимальная травматизация нерва с вовлечением в патологический процесс только миелиновой оболочки, аксонотмезис – повреждение аксона и внутренних оболочек нерва, нейротмезис – наиболее тяжёлый тип повреждения с нарушением целостности эпинеурия [137]. В 1951 году S. Sunderland расширил классификацию Seddon, включив в неё две промежуточные формы по типу аксонотмезиса [144].

Потенциал восстановления при этих повреждениях отличается: в случае нейропраксии возможно восстановление функции без оперативного лечения, при повреждениях типа нейротмезиса необходимо хирургическое восстановление целостности нерва.

Существенным недостатком вышеописанной классификаций является то, что на основании ее невозможно достоверно установить степень повреждения нерва на морфологическом уровне.

Большим значением для определения дальнейшей тактики лечения обладает классификация повреждений периферических нервов по сроку давности. Острым периодом считаются первые три недели с момента травмы. Ранний период включает в себя сроки от трёх недель до трёх месяцев с момента травмы, промежуточный – от трёх месяцев до шести месяцев, поздний – более шести месяцев. Наибольшая регенераторная активность отмечается в раннем периоде [3], далее регенераторный потенциал постепенно снижается. По данным литературы, у взрослых пациентов при операциях на нервных стволах при сроке

травмы свыше 6 месяцев удаётся добиться удовлетворительного функционального результата только в 25% случаев [136]. Поэтому особую важность имеет ранняя и полноценная диагностика повреждения периферических нервов.

#### **1.4 Анатомия периферических нервов и патофизиология повреждений периферических нервов**

После того как были совершены открытия, описывающие возможность восстановления функции нервов, актуальной темой для исследований стал вопрос о том, как происходит восстановление нервов. В 1830-е годы стало возможно микроскопические исследования нервов, благодаря развитию и созданию микроскопов с достаточным увеличением.

Попробуем проследить то, как развивалось изучение строения периферических нервов и патологических процессов, которые происходят после повреждения периферических нервов, а также современные представления об этом.

##### **1.4.1 Эволюция понимания строения нервной системы и дегенеративных процессов, развивающихся после повреждения стволов нервов**

До 30-х годов 19 столетия предпринимались попытки описания строения нервной ткани, но из-за того, что средства оптического увеличения не были достаточно развиты также, как и методы фиксации гистологических срезов для изучения нервной ткани. Ряд исследователей, таких как Marcello Malpighi, Frederik Ruysch, Giovanni Maria Della Torre и другие создали необходимый фундамент для дальнейших исследований и систематизации данных о строении и функционирования нервной системы [43].

Одним из первых исследователей, сделавших большой шаг для понимания строения нервов, стал Габриель Валентин. В 1834 году была опубликована его работа, в которой он описывал морфологические характеристики нервных волокон. Исследователь опирался на данные Феличе Фонтана и Эренберга и

попытался микроскопически охарактеризовать нервные волокна с глобулярными или шаровидными отростками. Он искал зависимость толщины нервных волокон от их расположения и выяснил, что самые толстые волокна присутствуют в спинном мозге. Но он не смог обнаружить физиологическое значение для наблюдаемых различий. В самых маленьких участках нервной ткани множество волокон перекрещивались, без понятной организации, что препятствовало детальному изучению длины, направлению и их взаимосвязи с различными отделами нервной ткани. В своих очерках автор отмечал: “Для тех из нас, кто учился во Вроцлавском университете, волокна, описанные Эренбергом, не были новыми, так как Пуркинье уже много лет показывал их в своих физиологических лекциях. Я имел возможность видеть их студентом между 1829 и 1830 годами, и каждый из моих бывших однокашников непременно был бы счастлив это подтвердить” (Валентин, 1834, с. 409). Также была опубликована еще одна работа, в которой впервые была сделана зарисовка нейрона – круглые или удлинённые клетки с ядром, иногда с ядрышком. Он впервые описал миелиновое нервное волокно – каждое нервное волокно идет непрерывно к серому веществу и состоит из участков разной плотности, либо покрытых оболочкой или с равномерно прозрачным, бесцветным и полужидким содержимым [43]. Еще одним важным вкладом для будущих исследователей было описание фиксационных растворов для дальнейшего исследования.

Таким образом вклад Габриэля Валентина оказался значительным. Впервые в научной литературе благодаря ему появились термины ядро и ядрышко, клеточные образования, и это несмотря на то, что клеточная теория была сформулирована и опубликована только спустя три года [43].

Следующим исследователем, который внес существенный вклад в современное понимание строения нервных волокон был Ремак. В своей первой работе в 1836 году Ремак описал различные волокна, которые он идентифицировал в спинномозговых нервах кролика во время развития, и сравнил эти данные с нервной тканью взрослого человека. Также им были

описаны, ранее упомянутые в работах Рочаски, Фонтана и Валентина, миелинизированные нервные волокна. Так же он подробно представил данные о поперечных перетяжках нервных волокон, которые впоследствии будут названы перехватами Ранвье.

Помимо этого были описаны немиелинизированные нервные волокна, которые можно обнаружить в постганглионарных симпатических волокнах и теперь известны как волокна Ремака [80]. Данные волокна объединяются в пучки, которые окружены немиелинизирующими Шванновскими клетками и в ряде публикаций можно обнаружить то, что данные пучки называются - пучки Ремака. Самым важным открытием Роберта Ремака является то, что было обнаружено связи между нервными волокнами и нервными клетками. Однако, данное утверждение долго время не находило всеобщей поддержки в научном сообществе [44].

Другим ученым, который помог приподнять завесу тайны над строением нервной ткани, был Я.Е. Пуркинье. В 1830-е годы Пуркинье опубликовал лишь несколько научных работ, вполне вероятно, это было связано с финансовыми трудностями. Поэтому основная информация о работах Пуркинье получена из ссылок Габриэля Валентина на исследования своего коллеги по лаборатории. Можно сказать, что Пуркинье один из первых начал показывать нервные волокна на лекциях в 1829 году. В 1836 году на своей лекции Пуркинье сообщил о результатах исследования строения нервной системы. Его результаты наблюдений совпали с наблюдениями Эренберга – нервная система состоит из трех основных веществ. Первое – красно-серое вещество, пронизанное многочисленными капиллярами, второе – нервные волокна, облаченные в оболочки из волокнистой клетчатки, третье – ганглиозные тельца (нервные клетки). В дальнейшем он описал, что нервные волокна окружены лентами из белкового вещества (миелин), подтвердив наблюдения Ремака [36; 44; 46; 161; 163].

Вот эти ученые и совершили прорыв в понимании строения периферических нервов, которые состоят из осевого цилиндра (данный термин часто используют с добавлением “Пуркинье”, в современной терминологии - аксон), окруженные лентами (миелиновая оболочка) в случае миелинизированных нервных волокон. Также были сделаны выводы, что основной частью нервной системы были нейроны, которые были соединены с нервными волокнами; первые осуществляли продукцию энергии для работоспособности клетки, а вторые выполняли проводящую функцию. Кроме того, эти ученые усовершенствовали технологию фиксации срезов для получения качественных данных. Создав мощную базу, они способствовали дальнейшим открытиям.

В дальнейшем известная информация систематизировалась и объединялась. Происходили описания новых клеток в нервной системе, а также открытие и понимание работы синапсов.

Уоллер подробно описал процессы, происходящие после повреждения нерва, в результате чего возник термин – Валлеровская дегенерация. В его исследованиях показано, что проксимальная часть нерва почти вся оставалась неизменной, а дистальная часть подвергалась дегенерации. Также важным его открытием была концепция жизненного центра, который в настоящее время мы называем клеточным телом. Этот вывод был достигнут, когда исследователь перерезал корешки между спинным мозгом и ганглиями и не видел дегенерации. Однако если линия пересечения была дистальнее ганглия, наблюдалась дегенерация всего нерва [45].

#### **1.4.2 Современные представления о строении периферических нервов и патологических изменениях в нем после повреждения.**

Поврежденные нервы периферической нервной системы, включая двигательные и чувствительные, иннервирующие мышцы и органы чувств, обладают способностью к регенерации и реиннервации своих мишеней, в

отличие от нервов центральной нервной системы, в которой этого не происходит [66; 67; 71; 74; 99].

При аксонотмезисе и нейротмезисе нервные волокна дистальнее повреждения лишаются связи с телом нервной клетки. В следствие чего дистальная часть аксона лишается источников синтеза белков, гликопротеинов, липидов и углеводов [66; 67; 71; 74; 99]. В дальнейшем дистальные участки нервного волокна подвергаются Валлеровской дегенерации, в ходе которой остаются целыми соединительнотканые оболочки и Шванновские клетки [33]. В течение первых двух дней сохраняется аксональный транспорт в дистальном фрагменте, что позволяет проводить потенциалы действия [103; 106]. В дистальной культе происходит накопление кальция, после чего данный процесс распространяется по всей цитоплазме и митохондриям дистальнее [100]. Кальций ответственный за дегенерацию аксонального цитоскелета, после чего происходит фрагментация, дезинтеграция и в конце концов фагоцитоз фрагментов аксонов и их миелиновых оболочек, в первую очередь Шванновскими клетками [80; 92; 93; 119]. В дальнейшем преобладающая роль фагоцитоза переходит макрофагам [30; 51; 148]. Параллельно с фагоцитозом происходят изменения в деятельности денервированных Шванновских клеток, которые пролиферируют и заполняют эндоневральные трубки в нервном волокне, дистальнее уровня повреждения. Также снижается регуляция генов, отвечающих за миелин и повышаются регуляция генов, отвечающих за рост [37; 38; 73]. Происходят процессы, связанные с интегрином и ламинином базальной пластинки (вырабатываются Шванновскими клетками) [41; 114]. Данные белки взаимодействуют с адаптерными молекулами конуса роста [114]. В результате происходит удлинение аксонов и их прорастание в эндоневральные трубки дистальной культи нерва, которые ведут к органам-мишеням [32; 35; 66; 114]. Однако данный процесс сложен и несовершенен и зачастую является запоздалым, особенно после хирургического восстановления целостности нерва [58; 121].



Даже несмотря на то, что техника оперативных вмешательств далеко продвинулась вперед и в настоящее время позволяет с помощью оптического увеличения и микрохирургической техники достаточно точно сопоставлять пучки нервных волокон (фасцикулы), регенерирующие аксоны не имеют возможности выбирать свои “родные” эндоневральные трубки [31]. Из-за этого некоторые аксоны имеют неправильное направление регенерации, что приводит к реиннервации не своих органов-мишеней и это является проблемой неполной реиннервации и неудовлетворительного восстановления функции поврежденных нервов, особенно у взрослых [76; 118]. Другой проблемой для достаточного восстановления функции, поврежденных нервов, является снижение регенеративной способности нейронов при длительных реиннервационных процессах, когда аксоны не установили контакта с своими денервированными мишенями [65; 73; 78]. Также снижается рост аксонов через длительно денервированные участки поврежденных нервов, так как у длительно денервированных Шванновских клеток снижается экспрессия генов, которые поддерживают рост, а также их количество уменьшается [39; 75].

Длительно денервированные мышечные волокна сохраняют свои клетки-сателлиты, которые способствуют восстановлению размеров после иннервации. Также они способствуют увеличению количества ядер при электромиостимуляции денервированных мышц и это, в свою очередь, способствует уменьшению денервационной атрофии волокон [21]. Однако длительно денервированные мышцы зачастую полностью не восстанавливают свой прежний объем, что предполагает возможное ограничение пролиферативных возможностей клеток-сателлитов [78].

В проксимальной культе также происходят дегенеративные процессы – разрушение аксонов и миелина до первого перехвата Ранвье для герметизации мембраны [104; 154]. Поврежденные мотонейроны изменяют экспрессию своих генов с тех которые отвечают за передачу сигналов, на те, которые отвечают за рост. Активируются гены, которые отвечают за цитоскелетные белки, актин,

тубулин и GAP-43, которые отвечают за рост аксонов. Гены, которые отвечают за белки, ответственные за химическую передачу – холинацетилтрансфераза и ацетилхолинэстераза в свою очередь подавляются. В тоже время, Шванновские клетки, как было ранее упомянуто, активируют гены, которые транскрибируют белки, поддерживающие рост аксонов, и снижают активность генов, связанных с продукцией миелина.

Аксональные отростки довольно быстро появляются из проксимальной культи с локальными цитоскелетными белками [25; 29]. Восполнение белков происходит за счет медленного аксонального транспорта после активации генов и трансляции в теле нейронов [25; 84; 90; 130; 150]. Даже при аксонотмезисе, когда эндоневральные трубки остаются неповрежденными, имеется задержка в несколько дней, прежде чем ростки проксимальной культи аксона прорастают в денервированные эндоневральные трубки и регенерируют в них. Торможение преодолевается по мере роста ростков аксонов, за счет стимуляции роста молекулами базальной пластинки и удлинённых Шванновских клеток [125; 133]. При нейротмезисе происходит повреждение эндоневральных трубок, и миграция Шванновских клеток в область повреждения после хирургического восстановления происходит медленно и занимает много времени. Аксон прорастает между культями, может разветвляться и даже врастать обратно в проксимальную культю нерва [162]. Продвижение аксонов в дистальную культю происходит медленно и для преодоления места наложения шва требуется месяц [58].

Шванновские клетки которые окружают чувствительные нервы, дистальнее повреждения, начинают экспрессировать сенсор-специфические нейротрофические факторы. В свою очередь Шванновские клетки, окружающие двигательные нервные волокна, экспрессируют свои моторно-специфические нейротрофические факторы [26; 134; 135]. К 15-му дню данные процессы достигают пиковых значений. Данные изменения активностей Шванновских

клеток дает повод считать, что имеется специфический отбор? регенерации двигательных и чувствительных нервных волокон [72]. Однако несмотря на наличие такой специфичности, исследование прорастания двигательных аксонов показывает неспособность регенерирующих двигательных аксонов найти необходимые пути к мышечным волокнам, которые они иннервировали ранее [69; 70]. Это помимо прочего является одной из причин длительных функциональных нарушений, которые наблюдаются после оперативного восстановления целостности периферических нервов [70; 110; 153].

После полного повреждения нерва и его хирургического восстановления целостности мозаичное распределение иннервированных мышечных волокон, характерное для неповрежденного нервно-мышечного комплекса, изменяется на сгущенное распределение реиннервированных мышечных волокон [79]. “Слипание” становится более обширным, если экспериментально уменьшить количество регенерируемых аксонов, путем перерезания вентрального корешка [128].

Каждое мышечное волокно двигательной единицы окружено 5-8 не мышечными волокнами. Таким образом, максимальное количество мышечных волокон, которые может реиннервировать один мотонейрон может быть равно 5-8 [79]. Увеличение размера двигательной единицы – увеличение количества и сократительной силы мышечных волокон, может достигать предела в 5-8 раз, что может компенсировать до 80% сокращений двигательных единиц в реиннервированных мышцах [109; 112; 113; 128; 129]. Когда же процент реиннервировавших аксонов меньше 20% мы наблюдаем снижение мышечной силы и как следствие худший функциональный результат [77; 128]. Пресинаптические Шванновские клетки присутствуют в области концевой пластинки нервно-мышечного соединения [142]. Клетки реагируют на ацетилхолин, и усиливают процессы, когда нервно-мышечная передача прерывается [94; 142; 143; 149]. После частичного повреждения нерва отростки

аксонов выходят из последнего перехвата Ранвье, неповрежденного нерва для реиннервации денервированных концевых пластинок соседних мышечных волокон [147; 149].

В настоящее время продолжают существовать сложности для достижения удовлетворительных функциональных результатов после хирургического лечения повреждений периферических нервов. Основная проблема это – неправильное направление роста регенерирующих двигательных аксонов к мышечным волокнам, которые они иннервировали ранее. Также с течением времени снижается экспрессия генов, которые отвечают за рост аксонов и поддерживающих Шванновских клеток. Данный процесс объясняет неудачи при оперативных вмешательствах в случае застарелых и проксимальных повреждениях периферических нервов [72].

### **1.5 Инструментальные методы диагностики**

Полноценное клиническое исследование и рациональное использование методов инструментальной диагностики при подозрении на повреждение периферического нерва играют одну из ведущих ролей в определении исхода лечения пациента и степени ожидаемого функционального восстановления верхней конечности. Известно, что регенераторный потенциал нервов ограничен, и чем быстрее будет выявлена нейропатия и проведено лечение, тем выше вероятность полного восстановления функции и возвращения пациента к привычной жизни.

В настоящее время помимо традиционного классического клинического исследования широко применяются такие инструментальные методы, как ультразвуковое исследование и электромиография (ЭМГ).

Ультразвуковое исследование позволяет определить уровень повреждения, структуру нерва, его положение относительно окружающих тканей, что особенно важно для предоперационного планирования. Современные УЗИ-аппараты позволяют визуализировать структуры до 1 мм в

диаметре [126; 158], что особенно ценно в детской практике. Также сонографически можно оценить структурно-функциональное состояние денервированной мышцы, выраженность развившейся гипотрофии [1]. Существенным минусом УЗИ является его субъективность, что не всегда позволяет корректно интерпретировать результаты [8; 47; 60].

Электромиография – электрофизиологический метод исследования, основанный на регистрации потенциалов, возникающих при сокращении мышцы в результате прохождения импульса по соответствующему периферическому нерву. ЭМГ позволяет проанализировать латентный период, форму, длительность и амплитуду потенциала, а также скорость прохождения импульса по нервному волокну (как двигательному, так и чувствительному) [17; 18; 157]. Выделяют два вида ЭМГ – стимуляционную (ЭНМГ – электронейромиография) и игольчатую. При первом варианте электроды накладываются на кожу в соответствии с проекцией интересующего нерва. При игольчатой ЭМГ игольчатый электрод вводится непосредственно в мышцу. Для диагностики нейропатий применяется ЭМГ, которая позволяет оценить скорость прохождения возбуждения по моторным и сенсорным нервным волокнам, а также характер вызванного М-ответа.

ЭМГ уже много лет применяется для диагностики нервно-мышечных заболеваний у взрослых, однако у детей применяется реже в связи с тем, что сама процедура вызывает болевые ощущения. Hellmann и другие авторы в своей работе проанализировали группу детей из 498 пациентов и установили, что диагностическая эффективность и качество результатов, полученных у младенцев и детей раннего возраста, сопоставимы с результатами, полученными у детей старшего возраста, более склонными к сотрудничеству [50]. Таким образом, при наличии показаний ЭМГ может выполняться у детей любого возраста.

Komur M., Okuyaz C., Makharoblidze K. в своём исследовании посчитали процент соответствия предварительного диагноза пациента и заключения после проведения ЭМГ. Из 54 детей с направляющим диагнозом «Повреждение

периферического нерва», заболевание подтвердилось у 40 (74,0%). Иными словами, проведение ЭМГ позволило выявить 26% ошибочных предварительных диагнозов [96].

По данным статьи Hellmann в группе пациентов, состоящей из 195 пациентов возрастом от 0 до 16 лет, результаты ЭМГ были сопоставимы с заключительным клиническим диагнозом в 99,5% случаев, что говорит о высокой специфичности метода [50].

Таким образом основными методами диагностики являются клинический осмотр, игольчатая ЭМГ и ультразвуковое исследование. Вкупе данные методы позволяют оценить функцию, строение, взаимоотношение с окружающими тканями, состояние мышечной ткани и в дальнейшем определить тактику лечения.

## **1.6 Консервативное лечение**

В настоящее время отсутствует единый подход к консервативной терапии при повреждении периферических нервов. Консервативную терапию можно условно разделить на ту которая применяется при тракционных, ушибленных травмах нерва, т.е. в тех случаях, когда не происходит аксонотмезис или нейротмезис, а наблюдается нейропраксия и на консервативную терапию, которая сопровождает оперативное лечение. Важно стоит отметить, что в детской популяции данная ситуация еще более проблемная, так как большинство препаратов, используемых неврологами, назначаются off-label, так как отсутствуют проведенные исследования и как следствие данные о безопасности их применения.

В работах травматологов при лечении повреждений периферических нервов у взрослых отмечается применение ингибиторов холинэстеразы [2; 9]. Проводятся работы, сравнивающие эффективность и отрицательные эффекты препаратов непосредственно в группе ингибиторов холинэстеразы. Некоторые авторы отмечают, что Ипидакрин обладает преимуществами и меньшим количеством осложнений нежели Прозерин [5; 16]. Также во взрослой практике

наблюдается назначение различных нейропротекторов, таких как Кортексин, тиоктовая кислота [15].

Как в детской, так и во взрослой практике применяются препараты, которые улучшают микроциркуляцию – Пентоксифилин, препараты никотиновой кислоты [2]. Однако однозначного влияния на улучшение результатов при применении этих препаратов не обнаружено.

Важным аспектом является купирование болевого синдрома. Применяются высокие блокады для периоперационного анальгезирования. Во взрослой практике значительно более широкий ряд препаратов для данных целей [4]. У детей же зачастую применяются Парацетамол, Анальгин, у детей старшей возрастной группы – Кеторолак.

Наиболее актуальной темой в хирургии периферических нервов в последнее время стала тема стимуляции роста поврежденных аксонов. Но единого мнения на этот счет не существует. [10].

Электронеуромиостимуляция важный этап для поддержания концевых пластинок нервно-мышечных синапсов и самих мышечных волокон. Она позволяет улучшить функциональный потенциал после прорастания нервных волокон до органов-мишеней. Ряд авторов отмечает, что возможно применение магнитных полей, так как они также стимулируют мышечные волокна и заставляют их сокращаться.

Другое важное направление – это применение различных факторов роста, химических веществ и мезенхимальных клеток.

Данный раздел находится на этапах развития и по большей части включает экспериментальные исследования.

Факторы роста можно разделить на 4 группы: нейротрофические факторы, факторы роста, протеазы и матриксные белки.

К нейротрофическим факторам относятся нейротрофины – NGF, BDNF и др., глиальные нейротрофические факторы – GDNF, Art. и нейропозитические цитокины – CNTF. Они обеспечивают пластичность и регенерацию центральной и периферической нервных систем. Их действие опосредовано через увеличение экспрессии антиапоптогенных (Bcl-2) и подавлении экспрессии апоптогенных (Forkhead1 и Bax) факторов транскрипции, таким образом увеличивая выживаемость поврежденных нейронов [13; 28].

Факторы роста, действующие в основном в других направлениях, также проявляют нейротрофическую активность, к ним относятся факторы роста фибробластов (FGF-s) и факторы роста эндотелия сосудов (VEGF). FGF-s оказывают свое воздействие на нейроны через активацию RAS, PI3K сигнальных путей тем самым осуществляя нейропротективное действие и усиливают рост нейритов [27]. VEGF также влияет через активацию RAS, PI3K сигнальных путей, а также связывается с рецепторами на поверхности нейритов – нейропилинами (NP-1,2), не позволяя им связываться с семафоридами и таким образом не исключая подавляющее воздействие последних на конус роста. Помимо этого VEGF стимулирует пролиферацию и миграцию Шванновских клеток [138].

К протеазам относятся тканевой активатор плазминогена, плазминоген и матриксные металлопротеиназы, которые освобождают эндоневральные трубки от фибрина и ингибирующих белков – F-спондин и белки миелина [140]. Также усиливая пролиферацию и миграцию Шванновских клеток и снижая их апоптоз [49].

Перечисленные выше факторы роста и их благоприятные влияния могут быть использованы при применении современного метода, который набирает активность в различных разделах хирургии – PRP.

За последние годы увеличилось количество исследований влияния PRP на усиление регенераторного потенциала периферических нервов. В ряде



исследований получены статистически значимые различия в улучшении результатов лечения. Контроль проводился с применением ЭМГ, гистологических исследований и было показано, что в группах, где применялось PRP, улучшались показатели реиннервации мышц, уменьшался апоптоз Шванновских клеток и увеличивалась экспрессия белка S-100 Шванновскими клетками [122–124]

В последнее время отмечается рост числа публикаций с описанием различных химических агентов и способов их доставки к зоне шва нерва для стимуляции регенерации аксонов. Особенно выделяются перспективы применения иммунодепрессанта Такролимуса (FK-506). Данный препарат был известен с конца 20 века и хорошо зарекомендовал себя как иммунодепрессант. Его применении привело к формированию парадокса: при его нейротоксичности он оказывал положительное влияние на регенерацию периферических нервных волокон. В 2021 году был выполнен систематический обзор Seixas et al. в котором были обобщены результаты исследований [55]. Было отмечено возможный механизм благоприятного влияния на регенерацию нервных волокон через усиление экспрессии белка GAP-43, который отвечает за формирование конуса роста поврежденных аксонов и удлинение аксонов [63; 139]. В исследованиях отметили, что Такролимус удваивает количество регенерирующих аксонов и увеличивает толщину миелиновой оболочки регенерирующих нервных волокон и это способствовало увеличению скорости восстановления мышечной массы [40; 57; 63; 68; 146].

Клеточные продукты из мезенхимальных клеток делятся в зависимости от зон, из которых они берутся: мезенхимальные стволовые клетки, полученные из жировой ткани, мезенхимальные стволовые клетки костного мозга, мезенхимальные стволовые, полученные из ткани плода. В исследованиях было показано улучшение регенерации нервных волокон, которые были подтверждены гистологическими и электрофизиологическими методами

исследования. Они могут дифференцироваться в необходимые нервные клетки, так и выделять нейроактивные вещества [105].

Применение инвазивных методов стимуляции регенерации нервных волокон всегда чревато возникновением проблемы доставки агентов до места назначения. Немаловажным является ограничение клинического применения, так как нет достаточной доказательной базы безопасности и эффективности данных методов. Если говорить про детскую популяцию, то, вероятно, процесс принятия данных методов может затянуться, и будет возможен только после прочного внедрения данных методов в практику у взрослой когорты населения.

### **1.7 Хирургическое лечение**

Основным методом лечения повреждений периферических нервов является хирургический. При диастазе между концами повреждённого нерва менее 1 см чаще всего применяется шов нерва. При более протяжённом дефекте наложение шва приводит к большому натяжению тканей, что негативно влияет на дальнейшую регенерацию. “Золотым стандартом” лечения повреждения нервов с выраженным диастазом (более 3 см) является применение аутооттрансплантата [48]. В качестве аутооттрансплантата применяются икроножный нерв, поверхностные кожные нервы [132; 160]. Выбор трансплантата зависит от размера дефекта, повреждённого нерва и состояние донорского нерва. Положительными аспектами данного метода является иммунологическая нейтральность трансплантата, которая способствуют действию местных нейротрофических факторов и факторов адгезии. К негативным последствиям операции следует отнести денервацию участка кожи в локусе, откуда берётся трансплантат, риск образования рубцов и невриномы, низкая жизнеспособность донорского участка.

Альтернативным методом лечения обширных дефектов периферических нервов является использование аллотрансплантата. Для этого метода не требуется выполнение дополнительного доступа для забора нерва-донора, кроме того, данная методика позволяет провести пластику нерва в случае критического

диастаза, когда объёма аутоневрального трансплантата не хватает для полноценного замещения дефекта. Недостатком использования аллотрансплантата является необходимость назначения длительного курса иммуносупрессивной терапии, на фоне которого у пациента повышается риск возникновения инфекции (в том числе генерализованной).

В статье Abbade L.P.F. и других авторов упоминается шовный материал, обогащённый гетерологичным фибриновым герметиком (heterologous fibrin sealant – HFS) [155]. HFS содержит криопреципитат, богатый фибриногеном, извлеченный из крови буйвола в дополнение к тромбиноподобному ферменту, очищенному из змеиного яда. Использование данного шовного материала позволяет снизить количество швов, что, в свою очередь, снижает риск развития гранулёматозного воспаления и невриномы. Кроме того, комбинация фибриногена и тромбиноподобного фермента стимулирует ангиогенез, что также благоприятно сказывается на восстановлении нерва [83].

Разрабатываются кондуиты из натуральных и синтетических биополимеров, которые лишены недостатков аутоотрансплантатов и создают структурную и трофическую поддержку регенерирующим аксонам, направляя и поддерживая их рост, что способствует достижению оптимального восстановления [91].

## **1.8 Сроки оперативных вмешательств**

### **1.8.1 Сроки оперативных вмешательств в возрасте старше 18 лет**

Существенной проблемой в достижении оптимального функционального восстановления после травмы периферического нерва является низкая скорость регенерации аксонов – всего 1-2 мм в сутки [23]. Считают, что необратимая дегенерация нервно-мышечной пластинки происходит в течение 12-18 месяцев. Длительная денервация приводит к фиброзу и атрофии мышц – через 4 месяца после травмы утрачивается 60-80% мышечной ткани, что также не способствует максимальному восстановлению после застарелых повреждений [98]. Кроме того, с течением времени снижается активность шванновских клеток и нейронов,

синтезирующих факторы, способствующие регенерации аксонов. В 1995 году Fu и Gordon использовали модель большеберцового нерва крысы, чтобы продемонстрировать, что после отсроченного восстановления более чем на четыре месяца регенерация снизилась до ~ 33% от числа аксонов, которые могли регенерировать после немедленного восстановления нерва [65]. С увеличением срока денервации пул аксонов, способных к регенерации, снижается вместе с общей мышечной массой. С. Barrios, S. Amillo и другие авторы при анализе 44 случаев застарелых повреждений пришли к выводу, что при сроке травмы свыше 6 месяцев полезного функционального восстановления удаётся достичь только у 25% пациентов [71]. Таким образом, чем раньше выполнена операция, тем лучших функциональных результатов мы можем ожидать.

Срок травмы более 12 месяцев у взрослых является показанием к реконструктивным операциям – таким, как свободная пересадка функционирующей мышцы или сухожильно-мышечной транспозиция [34; 62; 127].

### **1.8.2 Сроки оперативных вмешательств в возрасте до 18 лет**

На данный момент имеется ограниченное количество исследований, посвящённых оценке восстановления сенсомоторной функции у детей после оперативного лечения посттравматических нейропатий и оценке прогностических факторов, оказывающих влияние на процессы регенерации. Несмотря на наличие подобных исследований у взрослых пациентов, их результаты нельзя экстраполировать на детскую популяцию, так как регенераторный потенциал детского организма отличается от такового у взрослого.

Langridge и соавторы в 2020 году опубликовали ретроспективное исследование отдалённых результатов оперативного лечения нейропатий у детей за 12 лет работы [101]. Из 87 пациентов у 83 (95,4%) отмечалось полное или частичное восстановление чувствительности и двигательной функции, у 4 пациентов после операции не произошло качественных изменений. В своей работе авторы рассматривали только случаи свежего повреждения нерва,

оперативное лечение было проведено в первые 48 часов с момента травмы. Также стоит отметить, что возраст пациентов имел обратную корреляцию с последующим восстановлением. Так, в группе пациентов до 11 лет отмечалось значительно больше благоприятных исходов, чем у детей более старшего возраста [11; 12].

Эта закономерность была выявлена и в исследовании Chemnitz: в исследуемой им группе из 45 пациентов лучшие функциональные результаты были у детей в возрасте от 0 до 11 лет, далее качество восстановления снижалось [39]. Lundborg и Rosén в своей работе также установили снижение регенерации после 10-летнего возраста [102].

Таким образом можно выделить основные проблемы хирургии периферических нервов в настоящий момент – неблагоприятные прогностические факторы (возраст, уровень повреждения, срок с момента травмы до оперативного вмешательства) и возможность их преодоления, неправильное прорастание аксонов, ограниченное время для выполнения реконструктивных микрохирургических оперативных вмешательств на нервных стволах при их повреждении, а также возможности стимуляции регенерации и скорости роста аксонов после повреждений и операций.

## Глава 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### 2.1 Материал исследования

#### Общая характеристика

За период с 2017 по 2021 год в отделении микрохирургии Детской городской клинической больницы им. Н.Ф. Филатова наблюдались 114 пациентов с посттравматическими нейропатиями периферических нервов верхних конечностей.

Критериями включения и отбора в исследование являлись следующие параметры:

- Повреждение периферических нервов верхней конечности, таких как локтевой, лучевой и срединный,
- Возраст от 5 до 17 лет;

Критериями исключения из анализа были следующие факторы:

- Изолированное повреждение пальцевых и ладонных нервов,
- Сочетанная травма магистральных сосудов;

Данные для исследования извлекались из историй болезни, данных катамнестического наблюдения, сведения заносились в карту обследования пациента, для дальнейшей обработки на компьютере.

Распределение пациентов (n=114) по полу представлено в таблице и диаграмме, соотношение М: Ж составило 2,9:1.

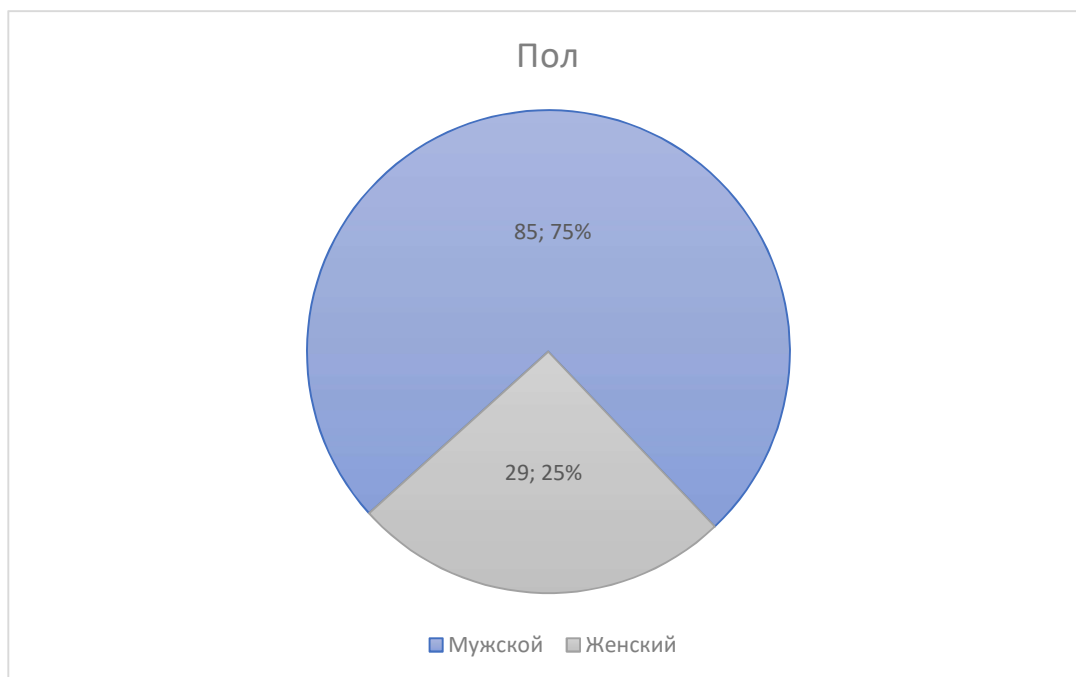


Рис. 1 Распределение по полу

Возраст пациентов составлял от 5 до 17 лет, медиана составила 12 лет (9;15).

Табл. 1 Распределение по возрасту

	Me	Q <sub>1</sub> – Q <sub>3</sub>	n	min	max
Возраст	12	9 – 15	114	5	17

Временной период достижения удовлетворительных результатов составил от 4 до 16 месяцев, медиана – 10 месяцев (7;11).

Табл. 2 Период достижения удовлетворительных результатов

	Me	Q <sub>1</sub> – Q <sub>3</sub>	n	min	max
Время достижения удовлетворительных результатов	10	7 – 11	114	4	16

Наиболее часто наблюдали повреждения срединного нерва (n=57), локтевого нерва (n=55) и несколько реже встречались повреждения лучевого

нерва (n=30), сочетанное повреждение 2х нервов встречали у 28 (24,6%) пациентов.

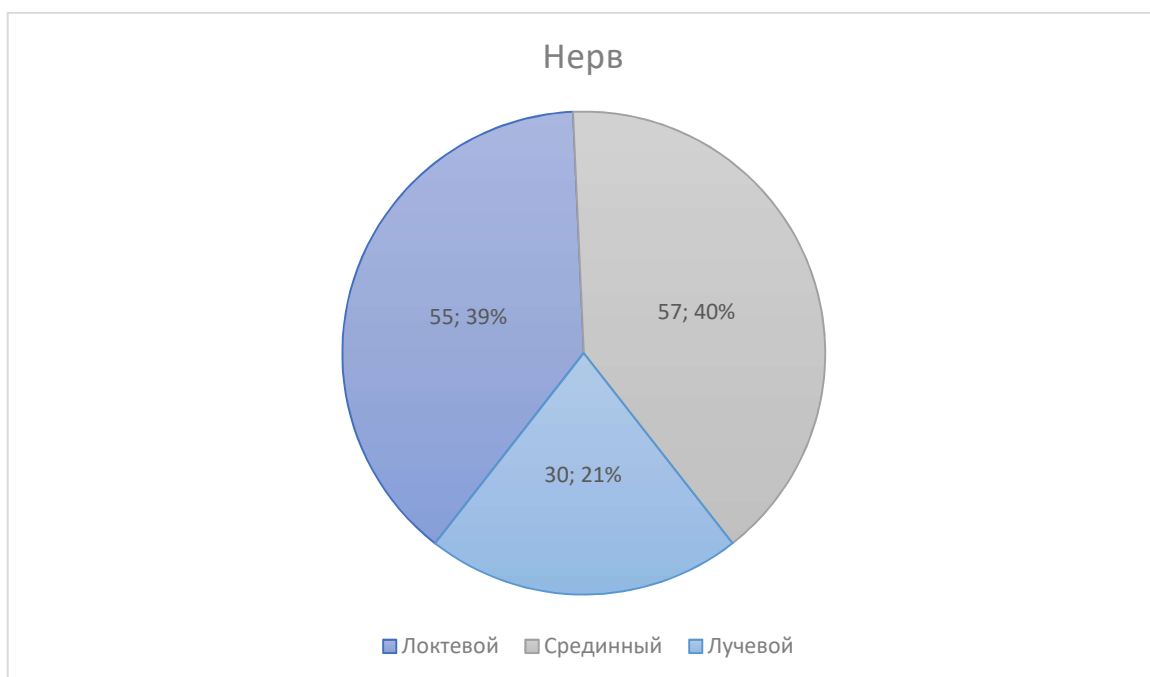


Рис. 2 Частота повреждений нервов

Основной причиной повреждения периферических нервов являлась травма острыми предметами (нож, битое стекло и прочее), она наблюдалась у 77 пациентов, у 26 пациентов выявили травматизацию нервов вследствие переломов костей верхних конечностей в отсроченном периоде, у 10 пациентов причиной травмы нерва являлись ятрогенные факторы (при репозициях и металлоостеосинтезе), у 1 пациента наблюдали повреждение нерва в следствие электротравмы.





Рис. 3 Основные причины повреждений периферических нервов

Исходя из данных литературы, известно, что основными прогностическими факторами при повреждениях нервов верхней конечности, влияющими на результат, являются:

- Возраст
- Уровень повреждения
- Тип оперативного вмешательства
- Срок, прошедший с момента травмы до оперативного вмешательства
- Восстановительное физиолечение и ЛФК в анамнезе

Для изучения влияния данных факторов на результаты восстановления функции поврежденных нервов у детей, пациенты были разделены на соответствующие группы:

- В зависимости от возраста:
  - До 11 лет
  - Более 11 лет
- В зависимости от уровня повреждения нервного ствола:
  - На уровне кисти
  - До середины предплечья

- До локтевого сгиба
- Выше локтевого сгиба
- В зависимости от типа оперативного вмешательства:
  - Первичный шов
  - Вторичный шов
  - Невролиз
  - Аутоневральная пластика
- В зависимости от сроков, прошедших с момента травмы до оперативного вмешательства, пациенты были разделены на 2 группы – те, которым оперативное вмешательство выполнено в раннем периоде, т.е. в первые три недели и те, которым оперативное вмешательство выполнено в позднем периоде, т.е. в срок более 3х недель. Таким образом сформированы 2 группы:
  - До 3 недель
  - Более 3х недель

После чего пациенты 2 группы были поделены еще на 4 группы для более детального изучения, исходя из возможных способностей нервного ствола к регенерации на разных сроках от момента травмы:

- До 3 месяцев
- От 4 до 6 месяцев
- От 7 до 12 месяцев
- Более 12 месяцев
- В зависимости от наличия/отсутствия ФЗТ и ЛФК в анамнезе

В таблице 5 представлены сводные данные пациентов, включенных в исследование.

Табл. 3 Сводные данные пациентов

Показатели	Категории	Абс.	%	95% ДИ
Пол	Девочки	29	25,4	17,7 – 34,4
	Мальчики	85	74,6	65,6 – 82,3
Возрастные группы	менее 11 лет	54	47,4	37,9 – 56,9
	более 11 лет	60	52,6	43,1 – 62,1

Уровень повреждения		Кисть	12	10,5	5,6 – 17,7
		До середины предплечья	53	46,5	37,1 – 56,1
		до локтевого сгиба	26	22,8	15,5 – 31,6
		Выше локтевого сгиба	23	20,2	13,2 – 28,7
Причина		Острые предметы	77	67,5	58,1 – 76,0
		Последствия переломов	26	22,8	15,5 – 31,6
		Ятрогенные повреждения	10	8,8	4,3 – 15,5
		Электротравма	1	0,9	0,0 – 4,8
Операция		Первичный шов	61	53,5	43,9 – 62,9
		Вторичный шов	24	21,1	14,0 – 29,7
		Невролиз	10	8,8	4,3 – 15,5
		Аутоневральная пластика	19	16,7	10,3 – 24,8
Нерв	Локтевой	Да	55	48,2	38,8 – 57,8
	Срединный	Да	57	50,0	40,5 – 59,5
	Лучевой	Да	30	26,3	18,5 – 35,4
Наличие ФЗТ/реабилитации		Нет	45	39,5	30,4 – 49,1
		Да	69	60,5	50,9 – 69,6

## **2.2 Методы обследования**

Всем пациентам выполняли:

- Клинический осмотр и сбор анамнеза,
- Пациентам с травматологическим анамнезом в области интереса, выполняли рентгенографическое исследование,
- Ультразвуковое исследование,
- Игольчатая миография,
- В послеоперационном периоде проводили анкетирование и катamnестическое наблюдение.

### **2.2.1 Анамнестический**

При анализе историй болезни и общении с пациентами тщательно собирали анамнез, суммировались все выписки и вычленялась следующая информация:

- Возраст на момент травмы и оперативного лечения,
- Срок с момента травмы до выполнения оперативного вмешательства,
- Уровень травмы,
- Причина повреждения,
- Данные клинического осмотра и данных дополнительных инструментальных исследований;

Клиническая оценка моторных функций нервов при их повреждении заключалась в определении следующих симптомокомплексов. Для лучевого нерва – это отсутствие разгибания кисти и пальцев, а также отсутствие отведения 1 пальца; для локтевого нерва – отсутствие сгибания 4, 5 пальцев и отведение/приведение 2-5 пальцев; для срединного нерва – отсутствие сгибания 1-3 пальцев и отсутствие противопоставления 1 пальца. Зоны распределения чувствительности кисти представлены на рис. 4.

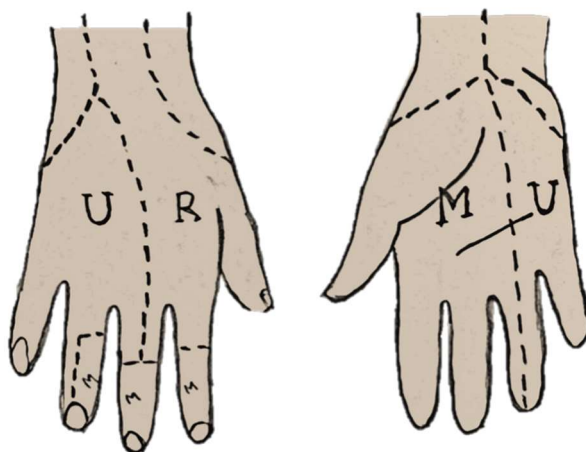


Рис. 4 Схема чувствительной иннервации кисти

Для оценки чувствительной функции нервов использовали тест дискриминационной двухточечной чувствительности (Тест Вебера) и шкалу Григоровича (рис.5 и табл.4) [18].



Рис. 5 Определение дискриминационной двухточечной пробы (Тест Вебера)

Табл. 4 Описание шкалы чувствительности (S)

Чувствительность		
Балл	оценки	Описание ощущений пациента при исследовании
чувствительности		
S0		Анестезия
S1		Грубое снижение чувствительности (ощущение уколов как незначительных прикосновений)

S2	Гипестезия с гиперпатией (извращение чувствительности, неадекватная реакция на стимул)
S3	Выраженное снижение чувствительности (ощущение уколов, как тупых прикосновений), уменьшение гиперпатии
S4	Незначительная гипестезия (ощущение уколов, однако хуже, чем на участках с сохранной иннервацией)
S5	Нормальная чувствительность

Для оценки двигательной функции исследовали объём активных движений конечности по шкале Григоровича [18] (табл.5).

Табл. 5 Описание шкалы двигательной функции (М)

#### Двигательная функция

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

### **2.2.2 Рентгенологическое**

После сбора анамнеза всем пациентам с переломами костей верхней конечности выполняли рентгенографическое исследование в 2х проекциях для предоперационного планирования. Так как зачастую нерв был поврежден металлическими конструкциями во время металлоостеосинтеза, а также в области костной мозоли в отдаленные сроки нерв мог вовлекаться, как в саму костную мозоль, так и в рубцы.

### **2.2.3 Ультразвуковое исследование**

УЗИ выполняли на аппаратах (GE Healthcare Logiq e, США) с использованием мультисекторных линейных датчиков с частотой 8-14 Гц и конвексных датчиков. Использовали В-режим сканирования, а также цветное доплеровское сканирование (ЦДК). Если у пациента было открытое повреждение или конечность была загрязнена какими-либо агентами, применяли защитный чехол для датчиков, а также стерильный силиконовый гель.

### **2.2.4 Электромиография**

Электромиографию выполняли всем пациентам с посттравматическими нейропатиями на аппарате (Комплекс компьютерный нейрофизиологический для исследования ЭМГ и ВП со встроенной функциональной клавиатурой Скайбокс, Россия).

### **2.2.5 Анкетирование и катamnестическое наблюдение**

Для субъективной оценки был использован опросник QuickDash, которым могут пользоваться самостоятельно пациенты в возрасте от 8-9 лет, пациенты младше этого возраста заполняли опросник при помощи родителей. [151]

Для всех пациентов были созданы индивидуальные карты пациентов, куда заносили данные катamnестических наблюдений, что позволило в дальнейшем заполнить таблицу для систематизации данных.

### 2.3 Оперативные вмешательства

Пациентам, в зависимости от сроков, прошедших с момента травмы и интраоперационных находок, выполнялись следующие оперативные вмешательства:

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

Во время операции выполняли ревизию. Деликатно мобилизовывали проксимальную и дистальную культы поврежденного нерва, при необходимости измененные концы культей нерва иссекали до здоровых тканей. При отсутствии натяжения под операционным микроскопом выполняли эпиневральный шов нитью Dafilon, Prolen 8/0-9/0. При этом важным моментом являлось правильное сопоставление проксимального и дистального концов нерва, что обеспечивало благоприятные условия для правильного прорастания аксонов в дистальную культю. Основным способом при выполнении шва нерва являлся — эпиневральный шов, который выполняется быстрее, нежели эпипериневральный шов, при этом результаты сопоставимы.



Рис. 6 Эпиневральный шов

2. Невролиз.

Данная операция в основном выполнялась пациентам, у которых в анамнезе были переломы костей верхней конечности, с последующей закрытой или открытой репозицией и металлоостеосинтезом. Рубцовый процесс вокруг или внутри нервного ствола зачастую ограничивает или препятствует



восстановлению функции нерва. Выделяют два вида невролиза – наружный и внутренний. Говоря о наружном невролизе – нервный ствол аккуратно и деликатно освобождался от рубцовых сращений. Если при выполнении инъекционной пробы возникало ограничение распространения раствора лидокаина по подэпиневральному пространству, выполняли внутренний невролиз – эпиневриотомия и выделение пучков нерва.

### 3. Аутоневральная пластика.

В тех случаях, когда после иссечения концевых невром культей образовывался диастаз, не позволяющий сблизить концы нерва без натяжения, выполнялась его аутоневральная пластика «вставками» из кожного икроножного нерва. Забор нерва выполнялся из доступа в 1/3 голени параллельно Ахиллову сухожилию. Выделяли нерв с помощью стриппера и отсекали нерв на уровне 2/3 голени. Вставки формировали с учетом сопоставления пучков, а количество определяли толщиной нервного ствола. Вставки фиксировали нитью Prolen/Dafilon 8/0-9/0.

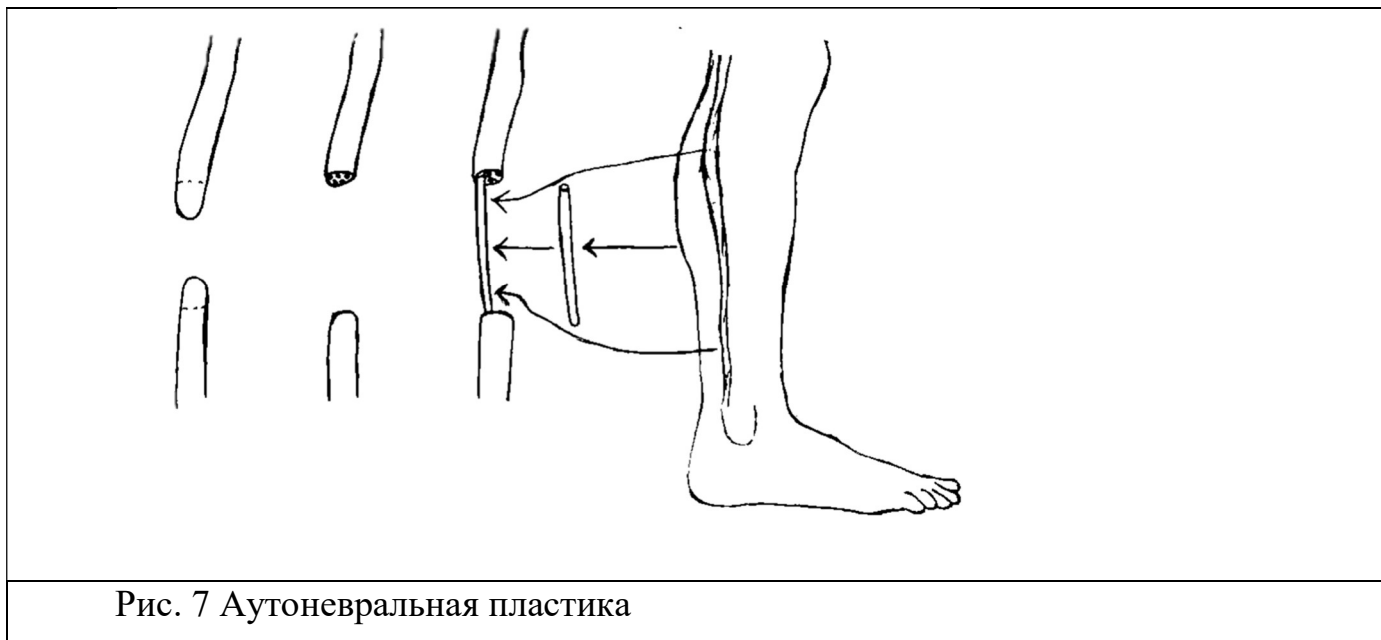


Рис. 7 Аутоневральная пластика

## 2.4 Послеоперационный период

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

Пациенты наблюдались в сроки 6 - 12- и более 18 месяцев с выполнением электромиографического и ультразвукового контроля и заполнением опросников.

## 2.5 Оценка результатов

Оценка результатов происходила при помощи:

### 1. Оценки восстановления функции нервов по шкале Григоровича:

Полное восстановление двигательной функции определялось как полный объем активных движений в каждом суставе без снижения силы и оценивалось по шкале Григоровича m4-5, удовлетворительное восстановление двигательной функции оценивалось по шкале Григоровича как m3.

Полное восстановление чувствительности определялось как восстановление нормальных значений двухточечной дискриминации (до 5 мм) при отсутствии парестезии, которое было равно по шкале Григоровича s4 - s5, удовлетворительное восстановление чувствительной функции оценивалось по шкале Григоровича как s3.

### 2. Опросника QuickDASH [151]:

Чем меньше значение, тем лучше

### 3. Времени затраченного на достижение восстановления функции поврежденного нерва

### 4. Дискриминационная двухточечная проба (Тест Вебера)

При отсутствии динамики в течение 6 месяцев, результат заносился в таблицу сводных данных как время, затраченное на достижение восстановления функции поврежденного нерва.

## 2.6 Статистическая обработка

Статистический анализ выполнен с применением программы StatTech v. 4.0.6 (разработчик - ООО "Статтех", Россия).

Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка (при числе исследуемых менее 50) или критерия Колмогорова-Смирнова (при числе исследуемых более 50).

Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывались с помощью средних арифметических величин (М) и стандартных отклонений (SD), границ 95% доверительного интервала (95% ДИ).

В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1 – Q3).

Категориальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей.

Сравнение трех и более групп по количественному показателю, имеющему нормальное распределение, выполнялось с помощью однофакторного дисперсионного анализа, апостериорные сравнения проводились с помощью критерия Тьюки (при условии равенства дисперсий).

Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью U-критерия Манна-Уитни.

Сравнение трех и более групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью критерия Краскела-Уоллиса, апостериорные сравнения – с помощью критерия Данна с поправкой Холма.

Сравнение процентных долей при анализе четырехпольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью критерия хи-квадрат Пирсона (при значениях ожидаемого явления более 10)

Сравнение процентных долей при анализе многопольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью критерия хи-квадрат Пирсона.

Направление и теснота корреляционной связи между двумя количественными показателями оценивались с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена (при распределении показателей, отличном от нормального).

Прогностическая модель, характеризующая зависимость количественной переменной от факторов, разрабатывалась с помощью метода линейной регрессии.

## Глава 3. МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ГРУПП ИССЛЕДОВАНИЯ

### 3.1 Анализ возрастных групп

С учетом данных мировой литературы о различиях результатов лечения повреждений периферических нервов в зависимости от возраста, пациенты были разделены на 2 возрастные группы – до 11 лет и более 11 лет. Пациентов возрастом до 11 лет было 54, более 11 лет – 60.



Рис. 8 Распределение пациентов по возрастным группам

Распределение пациентов в зависимости от пола: в обеих возрастных группах преобладали мальчики с соотношением М: Ж в группе до 11 лет 3,5:1 и в группе более 11 лет 2,5:1. Статистически значимых различий не выявлено ( $p = 0,454$ ) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона).

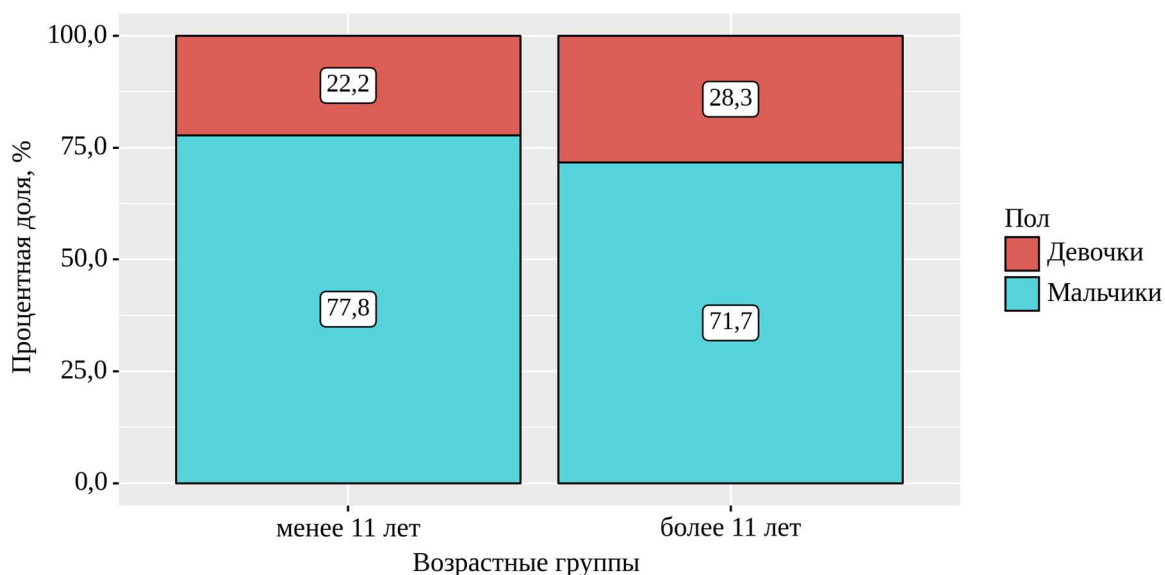


Рис.9 Различия по полу в зависимости от возрастных групп

Шансы Мальчиков в группе более 11 лет были ниже в 1,384 раза, по сравнению с группой менее 11 лет, различия шансов не были статистически значимыми (ОШ = 0,723; 95% ДИ: 0,308 – 1,695).

В структуре причин травм периферических нервов верхней конечности в зависимости от возрастных групп (менее 11 лет, более 11 лет) были выявлены статистически значимые различия ( $p = 0,011$ ) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона). В обеих группах основной причиной были острые предметы, однако в возрасте более 11 лет они составляли 80 % (48), а в группе до 11 лет всего 53.7% (29). Также в группе до 11 лет значительно преобладали последствия переломов 33,3% (18) против 13,3% (8) в группе более 11 лет и ятрогенные повреждения 11,1% (6) против 6,7% (4).

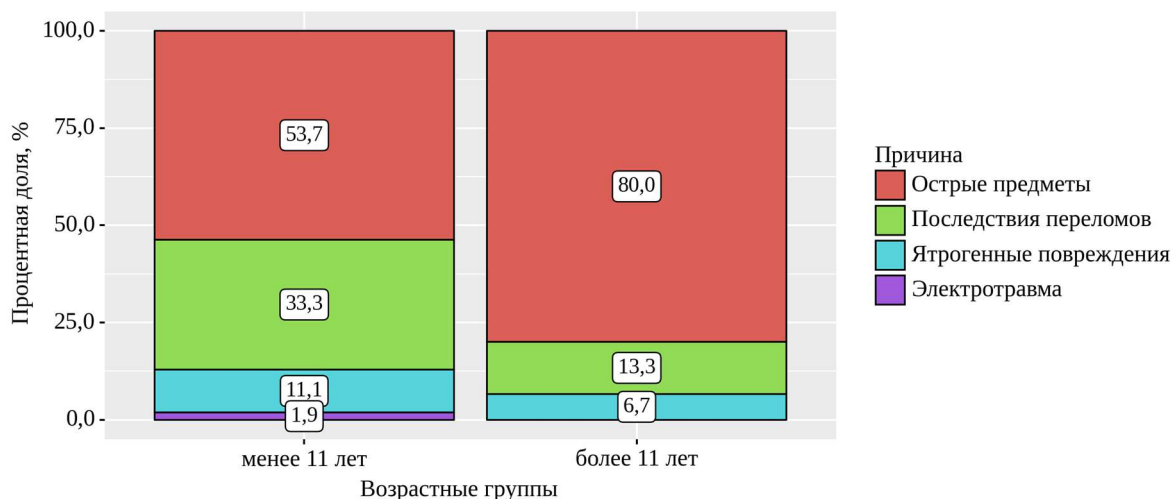


Рис. 10 Причины повреждения периферических нервов в зависимости от возрастных групп

Основным оперативным вмешательством в обеих группах был – первичный шов (менее 11 лет (25;46.3%) и более 11 лет (36;60%)) и статистически значимых различий выявлено не было ( $p = 0,344$ ) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона).

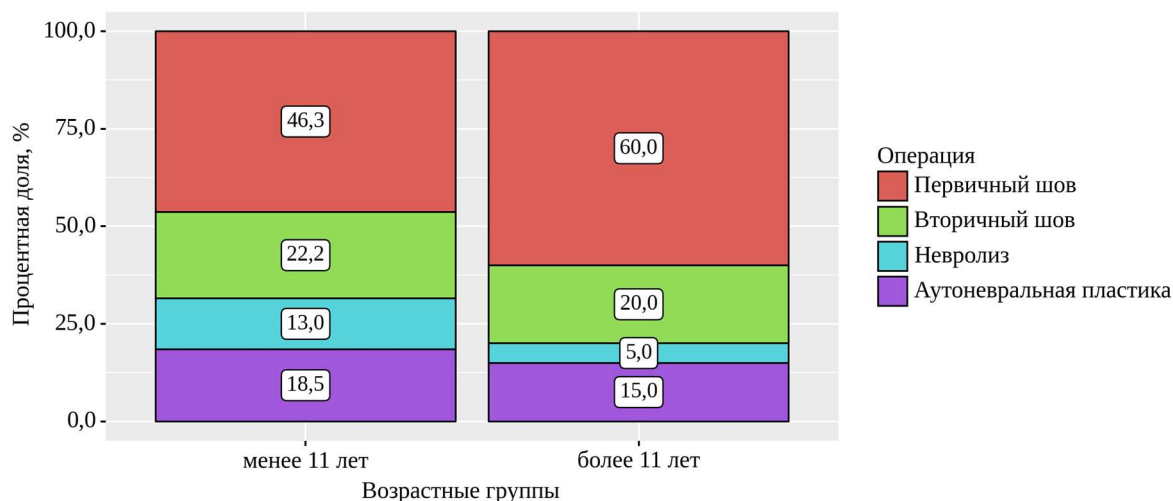


Рис. 11 Оперативные вмешательства в зависимости от возрастных групп

В обеих группах наиболее часто отмечалось повреждение периферических нервов на уровне нижней трети предплечья – менее 11 лет у 22 пациентов (40,7%) и более 11 лет у 31 пациента (51,7%), статистически значимые различия выявлены не были ( $p = 0,530$ ) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона).



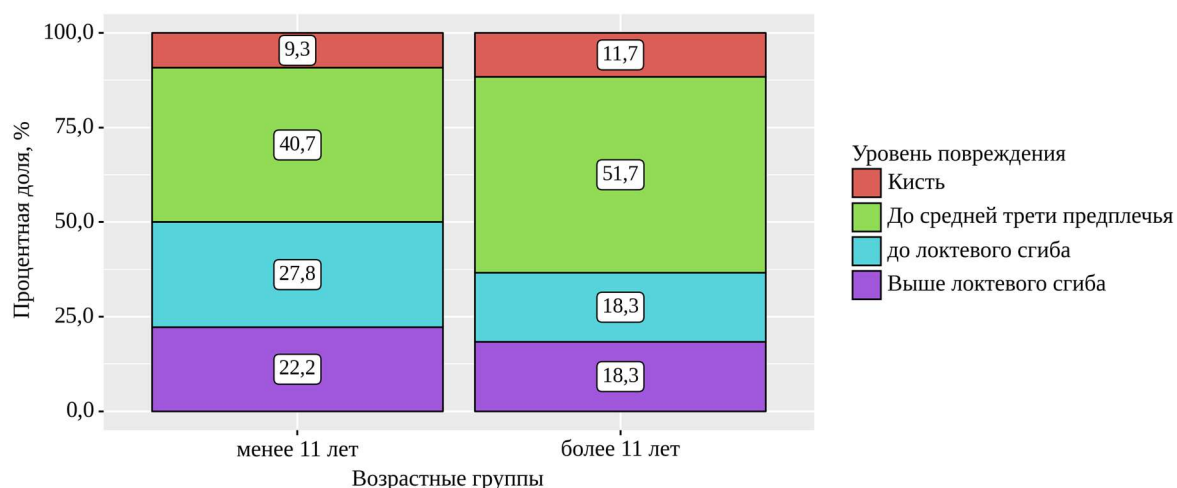


Рис. 12 Уровень повреждения периферических нервов в зависимости от возрастных групп

Таким образом, травмы периферических нервов верхней конечности наблюдаются несколько чаще у детей старше 11 лет (60; 53%), чем у детей до 11 лет (54; 47%). Группы сопоставимы по половому признаку. Основной причиной повреждений периферических нервов являются острые предметы в обеих группах. Наиболее часто пациентам в обеих группах выполнялся первичный шов. Уровень, на котором наиболее часто происходило повреждение нервного ствола, в обеих группах – от кисти до середины предплечья.

### 3.2 Анализ групп в зависимости от уровня повреждения периферического нерва

Распределение пациентов в зависимости от уровня повреждений представлено следующим образом: у 12 пациентов повреждения нервов отмечались на уровне запястья и кисти, у 53 пациентов повреждения были на уровне от запястья до середины предплечья, 26 пациентов получили травму нерва на уровне от середины предплечья до уровня локтевого сгиба, у 23 пациентов были повреждения нервов выше уровня локтевого сгиба.



Рис. 13 Распределение пациентов с различными уровнями повреждений

Распределение пациентов по полу в зависимости от групп (кисть, до середины предплечья, до локтевого сгиба и выше локтевого сгиба): на всех уровнях, кроме повреждения нерва на уровне кисти, сохраняется тенденция с преобладанием лиц мужского пола с соотношением М:Ж от 25:1 до 2,2:1, выявлены существенные различия по полу в группах “кисть” и “до локтевого сгиба” ( $p = 0,013$ ) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона).

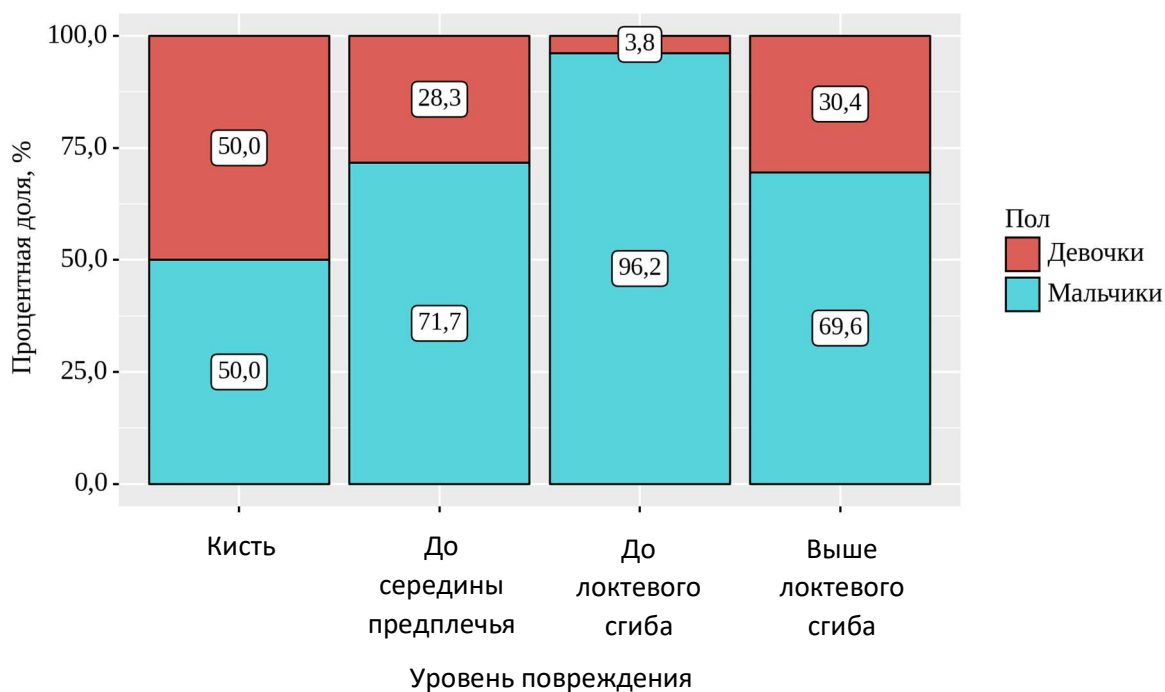


Рис. 14 Распределение по полу в зависимости от уровня повреждения

При оценке групп по возрастным показателям видно, что медиана составляет от 10 до 12 лет во всех группах.

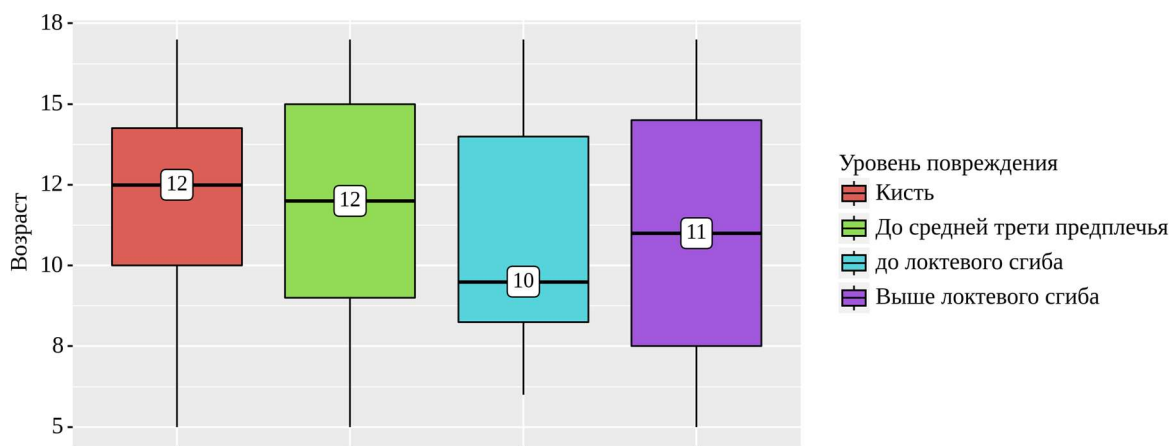


Рис. 15 Возрастные показатели в зависимости от уровня повреждения

Основной причиной повреждения нервов на уровне кисти были острые предметы (11;91,7%), на уровне от кисти до середины предплечья основной причиной были острые предметы (47;88,7%), на уровне от середины предплечья до локтевого сгиба также были острые предметы (13;50%), на уровне выше локтевого сгиба основной причиной повреждения нервов были последствия переломов (13;56,5%), при этом были установлены статистически значимые

различия ( $p < 0,001$ ) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона) в причинах на уровне “до середины предплечья” и “до локтевого сгиба”, а также “до середины предплечья” и “выше локтевого сгиба”

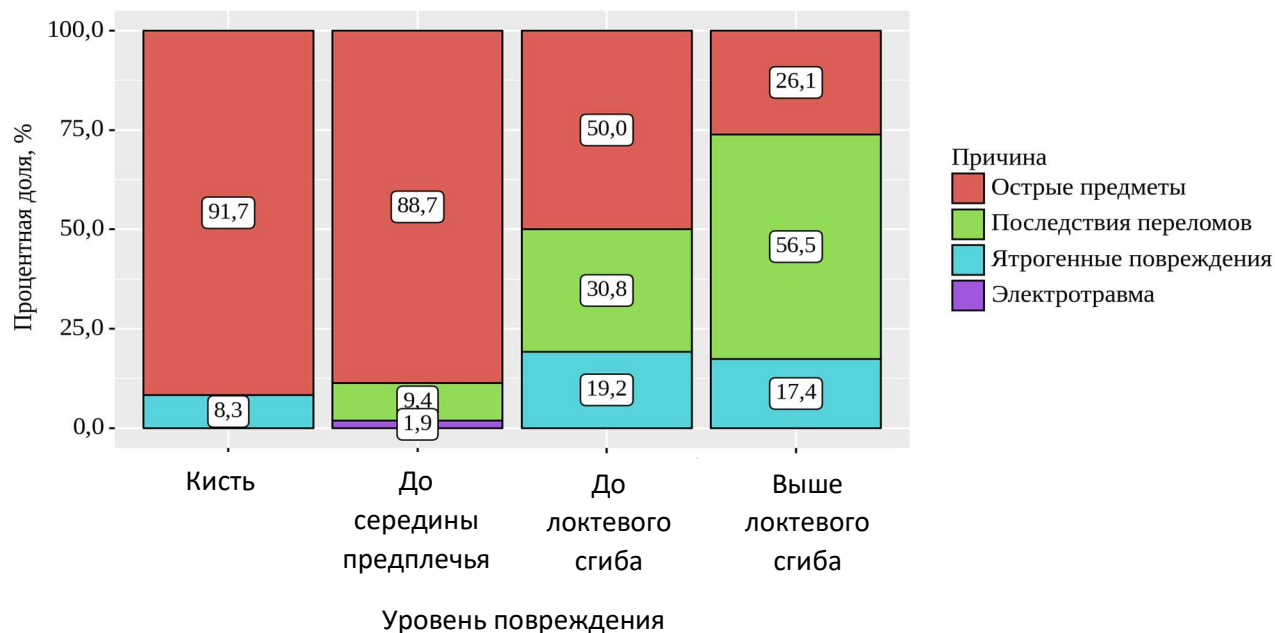


Рис. 16 Основные причины повреждения нервного ствола в зависимости от уровня повреждения

Основным оперативным вмешательством на уровне кисти было выполнение первичного шва (10;83,3%), на уровне нижней половины предплечья – выполнение первичного шва (38;71,7), на уровне верхней половины предплечья – аутоневральная пластика (9;34,6%) и первичный шов (9;34,6%), на уровне выше локтевого сгиба – аутоневральная пластика (7;30,4%) и вторичный шов (7;30,4%), различия были статистически значимыми ( $p < 0,001$ ) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона).

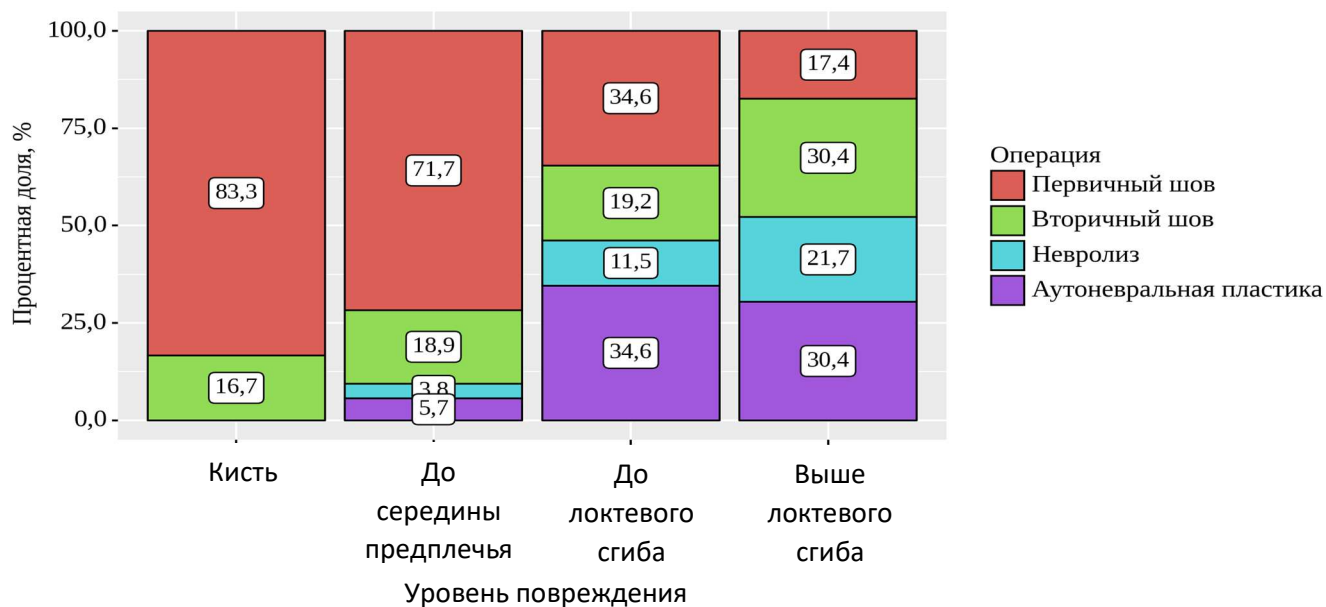


Рис. 17 Оперативные вмешательства в зависимости от уровня повреждения

На уровнях от кисти до локтевого сгиба основной причиной повреждений являются острые предметы, выше средней линии предплечья основной причиной травмы нервного ствола являются последствия переломов. Вероятно, в следствие различных причин травмы, а также сроков и особенностей при травмах нервного ствола в следствие чрез- и надмышцелковых переломов, наиболее частым оперативным вмешательством выше локтевого сгиба является аутоневральная пластика, на уровне от кисти до середины предплечья основным оперативным вмешательством был первичный шов нерва.

### 3.3 Анализ групп в зависимости от оперативных вмешательств

Пациентам выполнялись различные оперативные вмешательства – 61 пациенту выполнен первичный шов, 24 пациентам – вторичный шов, 10 пациентам потребовался невролиз и 19 пациентам аутоневральная пластика.

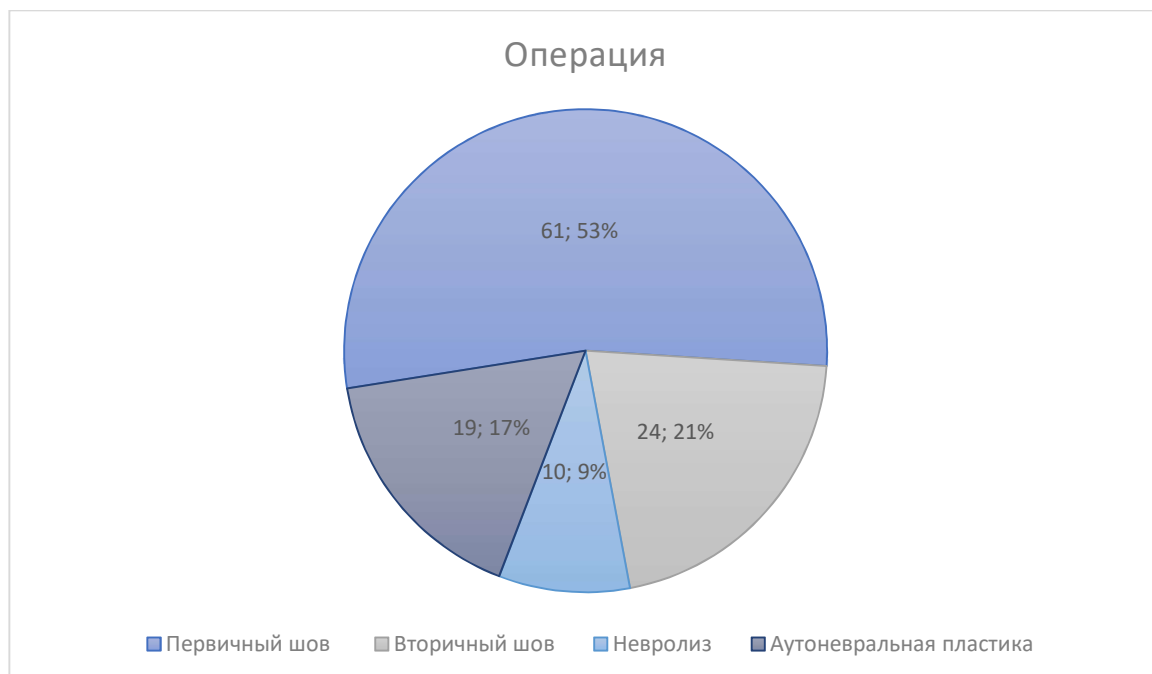


Рис. 18 Оперативные вмешательства

Во всех группах оперативных вмешательств отмечается преобладание мальчиков, над девочками с травмами периферических нервов, что соответствует общей тенденции распределения по полу.

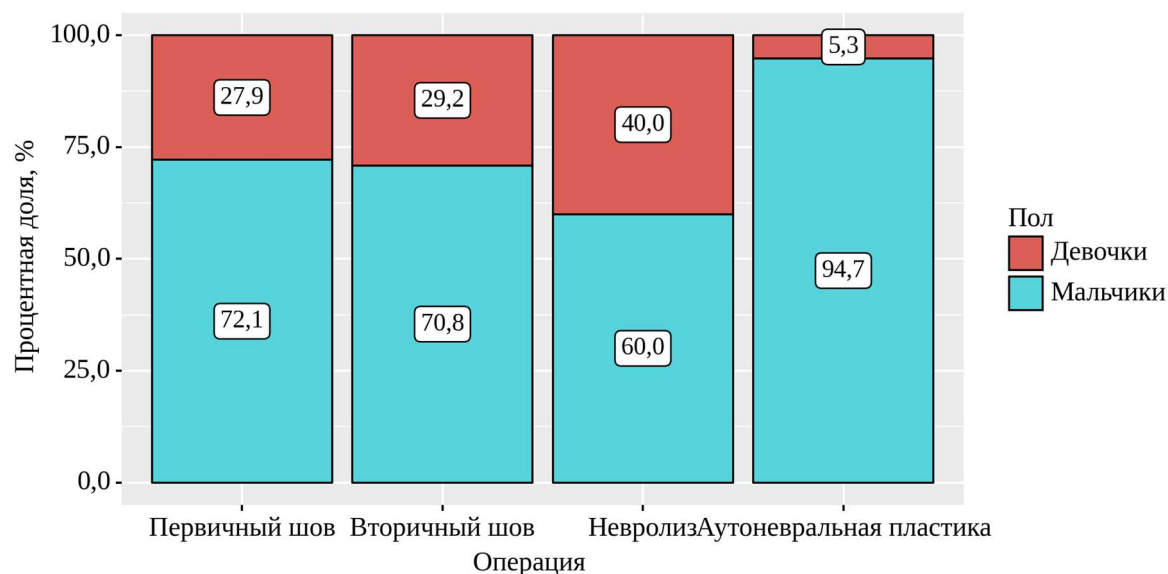


Рис. 19 Распределение пациентов по полу в зависимости от оперативного вмешательства

В группе пациентов, которым выполнялся невролиз определяется несколько меньший возраст по сравнению с другими группами (Ме – 8, против Ме 10-13).

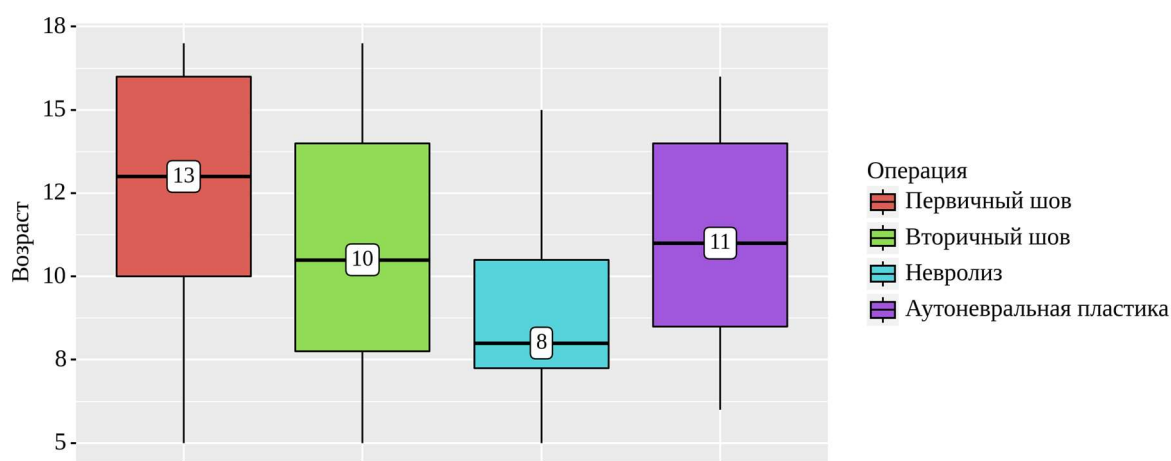


Рис. 20 Возрастные показатели в зависимости от оперативного вмешательства

В группе до 3х месяцев основным оперативным вмешательством был эпинеуральный шов, в то время как аутоневральная пластика преобладает в группах с более поздними сроками оперативного вмешательства.

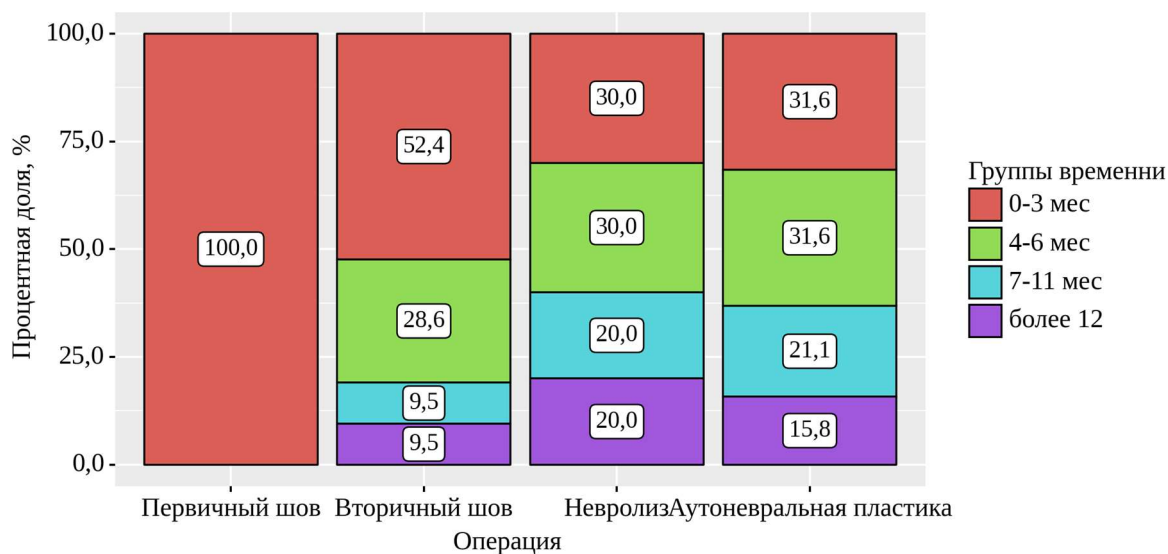


Рис. 21 Оперативные вмешательства в зависимости от срока с момента травмы

Основным оперативным вмешательством являлся первичный шов, это вероятно связано с ранней диагностикой повреждений периферических нервов у детей и соответственно сроками от момента травмы до оперативного вмешательства. Соотношения по полу в группа не показало различий, при этом по возрасту отмечается, что невролиз выполнялся более младшим пациентам, нежели остальные оперативные вмешательства.



### **3.4 Анализ групп по срокам оперативного вмешательства с момента травмы**

Пациенты имели различные сроки от момента получения травмы до оперативного вмешательства от 0 до 18 месяцев, медиана 0 (0;4). Для анализа влияния сроков на результаты лечения детей с повреждениями периферических нервов, пациенты были разделены на следующие группы:

Для оценки разницы результатов при восстановлении нервного ствола в ранний период и в поздний период после травмы:

Группа 1 – срок до 3 недель с момента травмы

Группа 2 – срок от 3 недель и более

Для детального влияния сроков на результаты и скорость восстановления функции после оперативного вмешательства, направленного на восстановление целостности нерва, группа 2 была разделена на следующие подгруппы:

Группа 1 – от 3х недель до 3 месяцев с момента травмы

Группа 2 – от 3х месяцев до 6 месяцев с момента травмы

Группа 3 – от 6 месяцев до 12 месяцев

Группа 4 – более 12 месяцев

### 3.4.1 Анализ групп в зависимости от сроков с момента травмы до оперативного вмешательства в ранний и поздний периоды

Пациенты были разделены на 2 группы, в зависимости от времени, прошедшего с момента травмы до оперативного вмешательства: 1 группа – оперативное вмешательство выполнено в ранний период, т.е. до 21-го дня (выполнение первичных швов), 2 группа – оперативное вмешательство выполнено в поздний период, т.е. более 21 дня (выполнение вторичных швов, невролиз, аутоневральная пластика). В первой группе было 52 пациента, во второй группе - 62 пациентов.

Соотношению по полу в группах сохраняет общую тенденцию – мальчиков с травмами периферических нервов больше, чем девочек. Не удалось установить статистически значимых различий ( $p = 0,336$ ) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона).

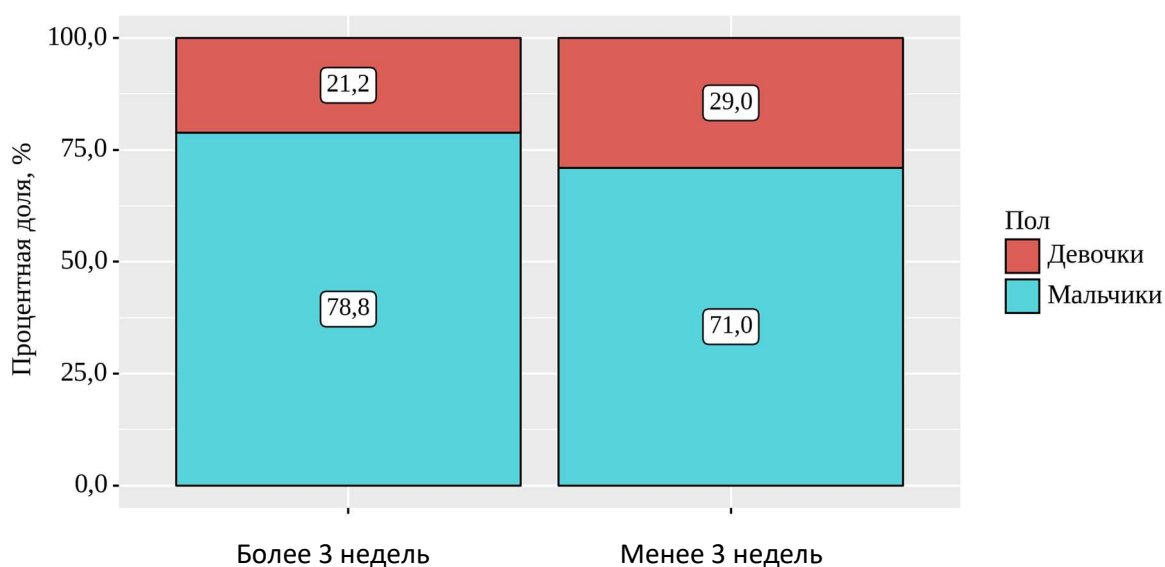


Рис. 22 Распределению по полу

При оперативном вмешательстве в раннем периоде отмечается более ранний возраст ( $Me - 10$ ), чем в группе, в которой оперативное вмешательство выполнялось в позднем периоде ( $Me - 12$ ), различия статистически значимые ( $p = 0,022$ ) (используемый метод: U–критерий Манна–Уитни).

Табл. 6 Возрастные показатели в зависимости от сроков с момента травмы

Категории	Возраст			p
	Me	Q <sub>1</sub> – Q <sub>3</sub>	n	
Более 21 дня	10	8 – 14	52	0,022*
Менее 21 дня	12	9 – 16	62	

\* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ )

В группе до 21 дня основной причиной была травма острыми предметами (59;95.2%), в группе в которой оперативное вмешательство выполнялось в срок более 21 дня основными причинами являлись последствия переломов (25;48.1%) и острые предметы (18;34.6%), различия статистически значимые ( $p < 0,001$ ) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона).

Табл. 7 Основные причины травмы нерва.

	Категории	Более 21 дня	Менее 21 дня	p
Причина	Острые предметы	18 (34,6)	59 (95,2)	< 0,001*
	Последствия переломов	25 (48,1)	1 (1,6)	
	Ятрогенные повреждения	8 (15,4)	2 (3,2)	
	Электротравма	1 (1,9)	0 (0,0)	

\* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ )

Основное оперативное вмешательство, которое выполнялось в группе до 21 дня был первичный шов (58;93.5%), в группе более 21 дня основными оперативными вмешательствами были вторичный шов (20;38,5%) и

аутоневральная пластика (19;36,5%), выявленные различия были статистически значимые ( $p < 0,001$ ) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона).

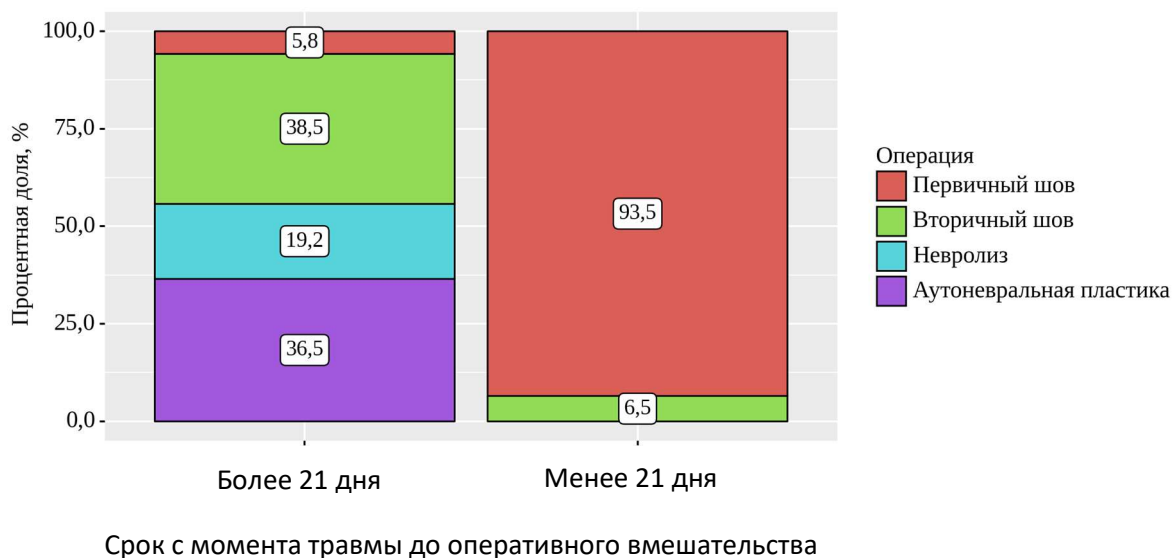
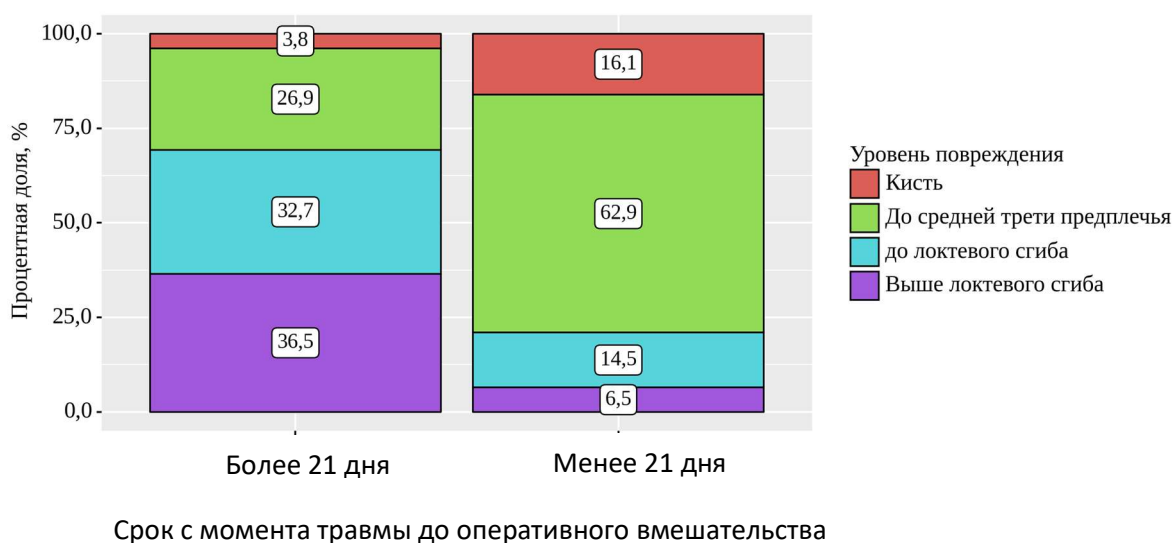


Рис. 23 Оперативные вмешательства, выполненные в группах

Самым частым уровнем повреждений при сроке до 21 дня было повреждение в области от запястья до середины предплечья (39;62,9%), в группе более 21 дня большинство повреждений находилось на уровне выше кисти – до середины предплечья 14 (26,9%), до локтевого сгиба 17 (32,7%) и выше локтевого сгиба 19 (36,5%), наблюдаемые различия являлись статистически значимыми ( $p < 0,001$ ) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона).



### Рис. 24 Уровни повреждений в группах

Различий в распределении пациентов по полу и возрасту в группах выявлено не было. Основными причинами повреждений в группах являются острые предметы, также отмечается значительное увеличение количества последствий переломов, как причины травмы нервов в группе более 21 дня, что связано с сложностью диагностики и выжидательной тактикой. Оперативные вмешательства в группах отличаются, так в группе до 21 дня преобладает первичный шов, а в группе более 21 дня – вторичный шов и аутоневральная пластика. Основным уровнем повреждений нервов является дистальная половина предплечья, также в связи с тем, что в группе более 21 дня начинают превалировать последствия переломов как причина травм нервов, повышается и основной уровень повреждений – проксимальная половина предплечья и выше локтевого сгиба.

### 3.4.2 Анализ групп в зависимости от сроков с момента травмы до оперативного вмешательства

Для определения оптимальных сроков от момента травмы до оперативного вмешательства, при котором возможно достижение удовлетворительного результата лечения, пациенты были поделены на 4 группы: от 3 недель до 3х месяцев, от 3 до 6 месяцев, от 6 до 12 месяцев и более 12 месяцев. Такие сроки были выбраны исходя из работ, посвященных повреждению периферических нервов у взрослых: в эти сроки достигаются различные результаты лечения.

При оценке распределения по полу в зависимости от групп (0-3 мес.; 4-6 мес.; 7-11 мес.; более 12 мес.) сохраняется общая закономерность, статистически значимых различий не выявлено ( $p = 0,537$ ) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона).

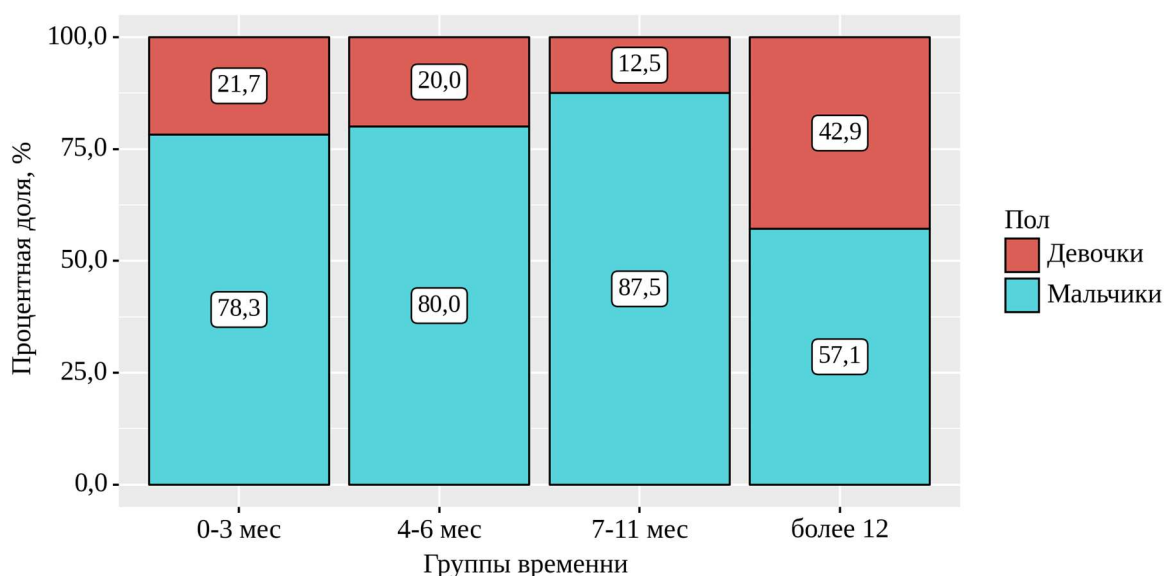


Рис. 25 Распределение по полу в группах, в зависимости от сроков с момента травмы до оперативного лечения

При анализе распределение по возрасту в зависимости от групп (0-3 мес.; 4-6 мес.; 7-11 мес.; более 12 мес.) не было выявлено статистически значимых различий ( $p = 0,129$ ) (используемый метод: F–критерий Фишера).

Табл. 8 Возрастные показатели в группах в зависимости от сроков с момента травмы до оперативного вмешательства

Показатель	Категории	Возраст			p
		M ± SD	95% ДИ	n	
Группы временни	0-3 мес	10 ± 4	9 – 12	23	0,129
	4-6 мес	10 ± 3	8 – 11	15	
	7-11 мес	13 ± 3	11 – 16	8	
	более 12	11 ± 3	8 – 14	7	

Основной причиной в группах были: 0-3 мес. – острые предметы (9;39,1%) и последствия переломов (9;39,1%), 4-6 мес. – последствия переломов (8;53,3%), 7-11 мес. – последствия переломов (5;62,5%) и в группе более 12 мес. – последствия переломов (3;42,9%) и ятрогенные повреждения (2;28,6%). Значимых различий выявить не удалось ( $p = 0,767$ ) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона).

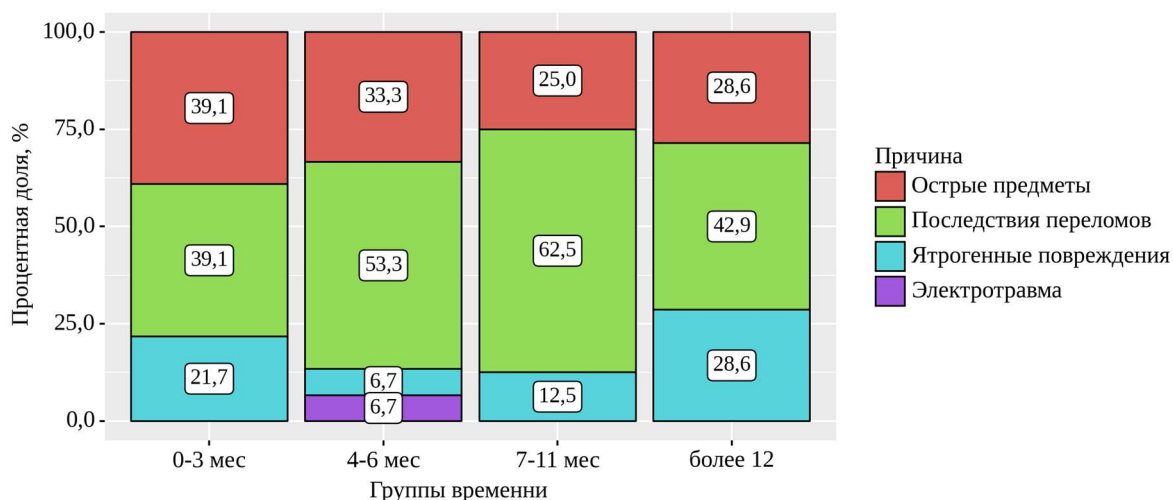


Рис. 26 Причины травмы нерва в зависимости от групп

Основные оперативные вмешательства, которые выполнялись в группах: 0-3 мес. – вторичный шов 11 пациентам (47,8%), 4-6 мес. – вторичный шов (6;40%) и аутоневральная пластика (6;40%), 7-11 мес. – аутоневральная пластика 4 пациентам (50%) и в группе более 12 мес. – аутоневральная пластика 3 пациентам (42,9%). Не удалось выявить статистически значимых различий ( $p = 0,626$ ) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона).

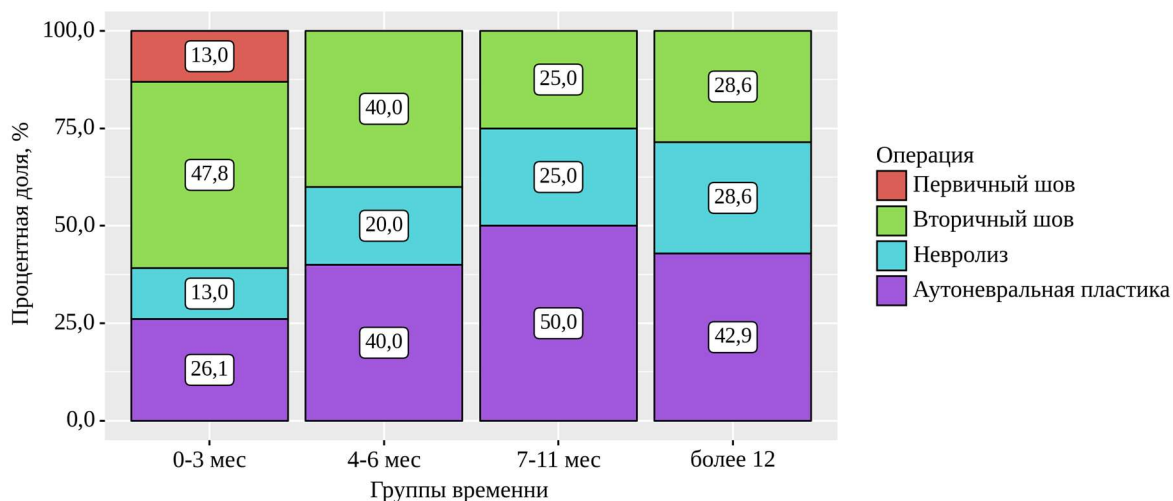


Рис. 27 Операции в зависимости от групп

Наиболее часто в группе до 3 мес. повреждения периферических нервов происходили на уровне верхней трети предплечья (8;34,8%), в группе от 4 до 6 мес. на уровне выше локтевого сгиба (6;40%) и в нижней трети предплечья (5;33,3%), в группе от 7 до 11 мес. – выше локтевого сгиба у 4 пациентов (50%) и в группе более 12 месяцев в верхней трети предплечья у 4 пациентов (57,1%). При этом не удалось установить статистически значимых различий ( $p = 0,488$ ) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона).

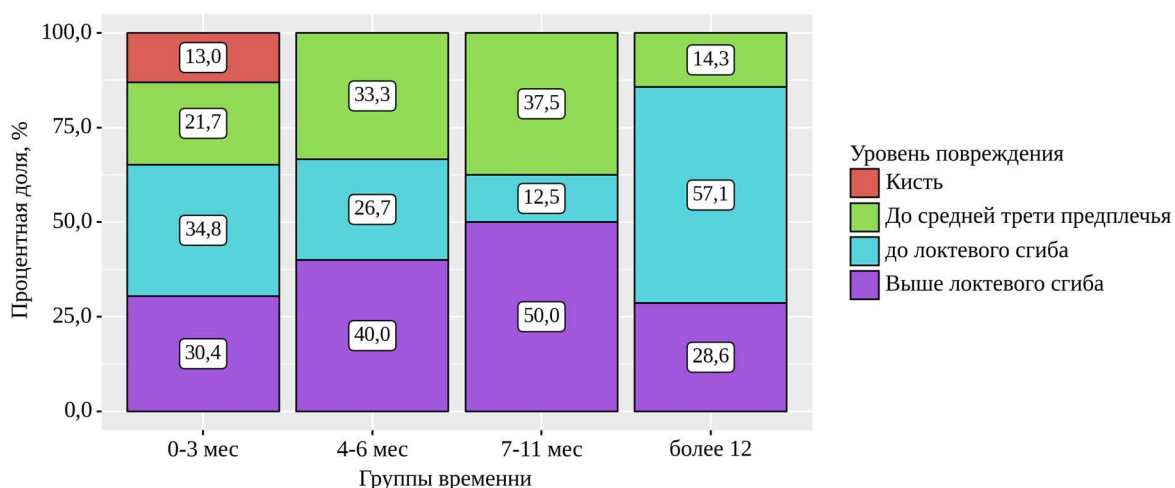


Рис. 28 Уровни повреждений периферических нервов в зависимости от групп

Таким образом распределение пациентов по полу соответствует общей выборке пациентов, в каждой временной группе травмы у мальчиков



встречались чаще, чем у девочек. Различий по возрасту в группах также не было выявлено. Можно отметить, что с увеличением сроков с момента травмы основной причиной повреждений нервного ствола являются последствия переломов и ятрогенные повреждения. Также отмечается увеличение частоты проксимальных повреждений нервов с увеличением сроков от травмы до оперативного вмешательства, что вероятно связано с причиной травмы нервного ствола и в следствии этого выбором выжидательной тактики. Травмы периферических нервов верхней конечности встречаются чаще у детей старше 11 лет (60 53%), чем у детей до 11 лет (54 47%). При этом во всех возрастных группах основной причиной повреждения являются острые предметы, однако в группе до 11 лет отмечается большее количество повреждений нервов в следствие переломов (33,3%) и ятрогенных причин (11,1%). При этом с увеличением сроков с момента травмы преобладающей причиной повреждения нервного ствола являются последствия переломов и ятрогенные повреждения. Суммировав выше сказанное, дети младшей возрастной группы, зачастую, не могут правильно описать свои ощущения. Это значительно осложняет первичную диагностику после снятия гипсового лонгета. Поэтому необходимо выполнение тщательного неврологического обследования после репозиций, металлоостеосинтеза, а также после снятия гипсового лонгета. При появлении сомнений в функционировании нервов верхней конечности – обследование в объеме УЗИ периферических нервов в зоне перелома и игольчатая ЭМГ. Это позволит сократить время принятия решений и обращения за консультацией к хирургу.

Выявлено увеличение числа аутоневральных пластик при увеличении времени с момента травмы и при проксимальном уровне повреждения. Поэтому хирургу необходимо при планировании оперативного вмешательства помнить об этой способности и обладать необходимыми навыками (аутоневральная пластика). Также сокращение времени с момента травмы до оперативного вмешательства возможно позволит уменьшить диастаз между концами поврежденного нерва и воздержаться от выполнения пластики нерва.

## Глава 4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛЕЧЕНИЯ

### 4.1 Анализ влияния возраста на результаты лечения и скорость восстановления функции нерва

#### Сравнение групп до 11 лет и более 11 лет

Для выявления влияния возраста на восстановление функции поврежденного нерва был выполнен анализ результатов лечения детей с повреждениями периферических нервов верхней конечности в зависимости от возраста.

При оценке показателя "QuickDASH", показателя "S (чувствительность)", показателя "М (двигательная функция)" в зависимости от показателя "Возрастные группы", были установлены статистически значимые различия ( $p = 0,014$ ,  $p = 0,019$ ,  $p = 0,005$  соответственно) (используемые методы: *U-критерий Манна-Уитни*, *U-критерий Манна-Уитни*, *U-критерий Манна-Уитни*). При сопоставлении показателя "ДДТП (Тест Вебера)" в зависимости от показателя "Возрастные группы", не удалось выявить статистически значимых различий ( $p = 0,232$ ) (используемый метод: *U-критерий Манна-Уитни*).

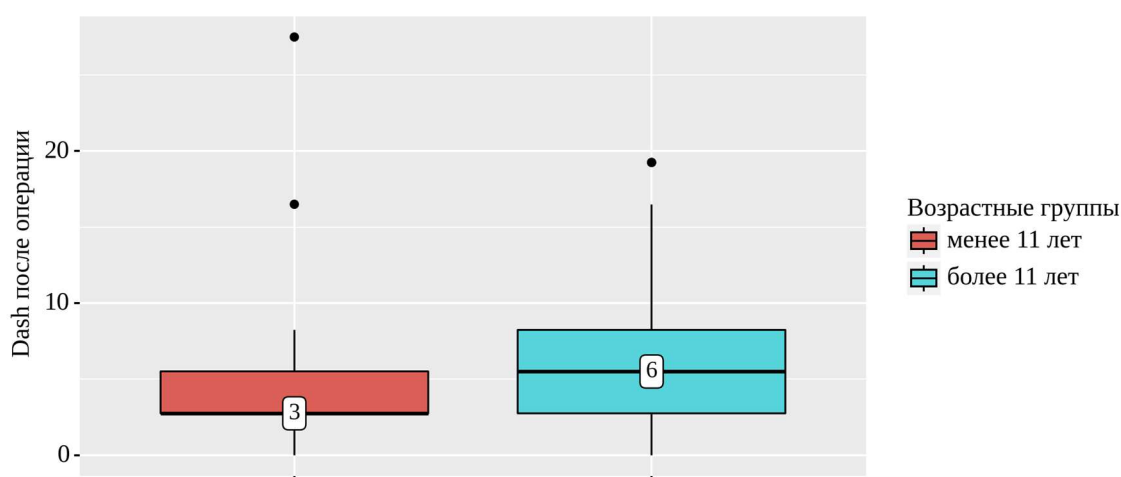


Рис. 29 Анализ показателя "QuickDASH" в зависимости от показателя "Возрастные группы"

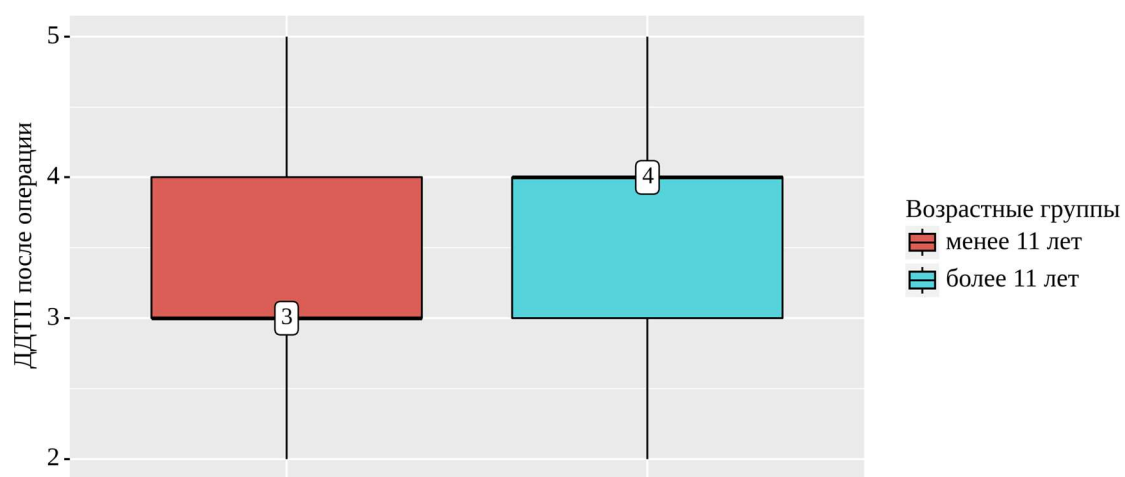


Рис. 30 Анализ показателя "ДДТП (Тест Вебера)" в зависимости от показателя "Возрастные группы"

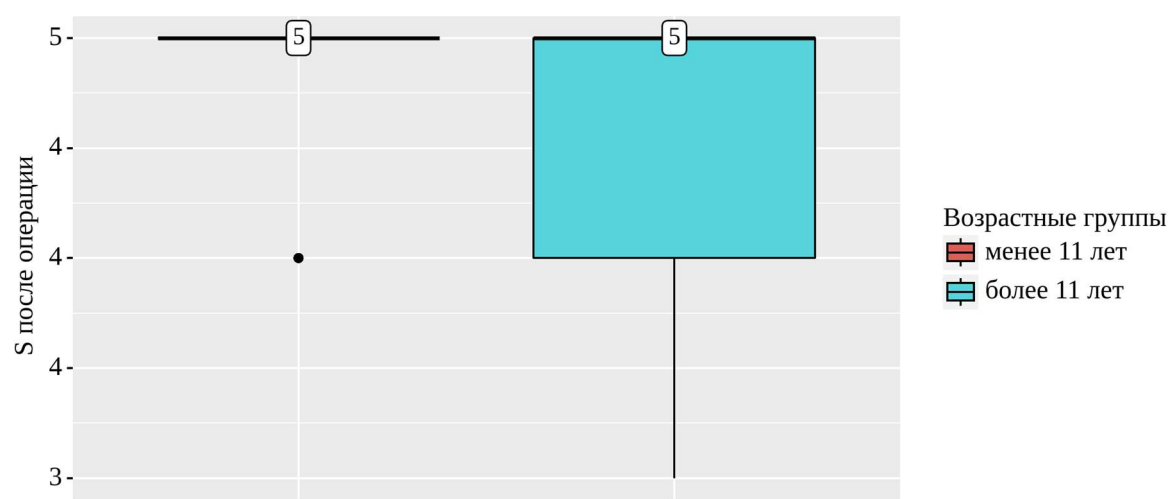


Рис. 31 Анализ показателя "S (Чувствительная функция)" в зависимости от показателя "Возрастные группы"

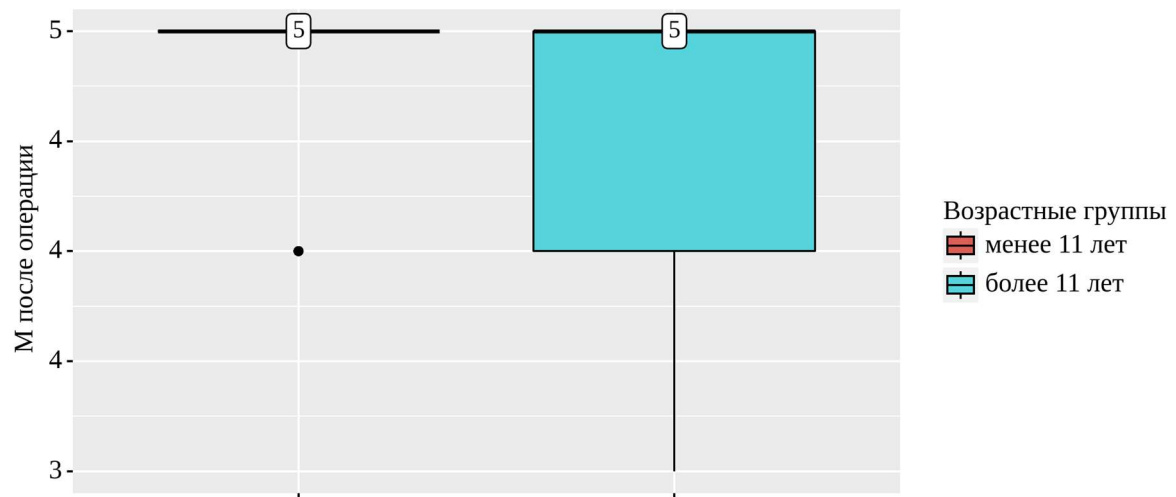


Рис. 32 Анализ показателя "М (двигательная функция)" в зависимости от показателя "Возрастные группы"

Восстановление двигательной и чувствительной функции, а также субъективные ощущения пациентов были лучше у детей до 11 лет, нежели чем у детей старшего возраста.

### Анализ влияния возраста на результаты и скорость достижения благоприятных результатов

Для более детальной оценки влияния возраста был выполнен анализ влияния возраста на результаты и время достижения удовлетворительных результатов.

Был проведен корреляционный анализ взаимосвязи возраста и результатов лечения детей с травмами периферических нервов.

Табл. 9 Результаты корреляционного анализа взаимосвязи возраста и результатов лечения

Показатели	Характеристика корреляционной связи		
	ρ	Теснота связи по шкале Чеддока	p
Возраст – QuickDASH	0,242	Слабая	0,010*
Возраст – ДДТП	0,151	Слабая	0,109
Возраст – S (чувствительность)	-0,216	Слабая	0,021*
Возраст – М (двигательная функция)	-0,219	Слабая	0,019*

\* – различия показателей статистически значимы (p < 0,05)

При оценке связи показателя "QuickDASH" и показателя "Возраст" была установлена слабой тесноты прямая связь.

Наблюдаемая зависимость показателя "QuickDASH" от показателя "Возраст" описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$Y_{\text{QuickDASH}} = 0,297 \times X_{\text{Возраст}} + 1,899$$

При увеличении показателя "Возраст" на 1 следует ожидать увеличение показателя "QuickDASH" на 0,297. Полученная модель объясняет 4,9% наблюдаемой дисперсии показателя "QuickDASH".

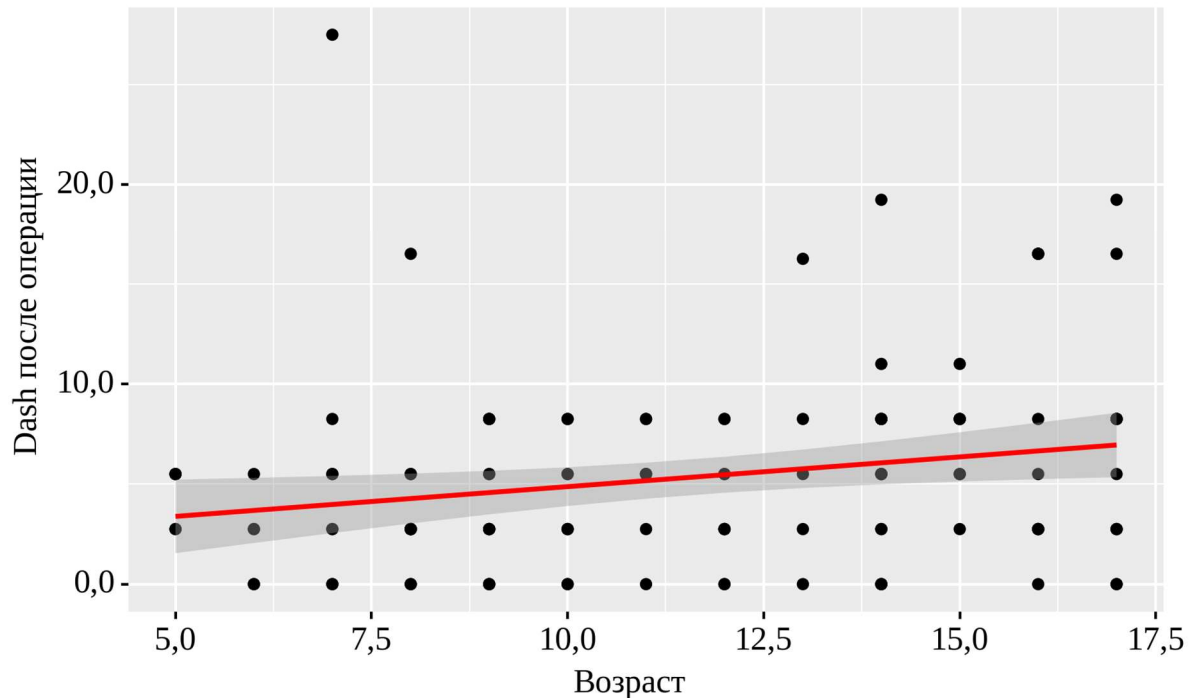


Рис. 33 График регрессионной функции, характеризующий зависимость показателя "QuickDASH" от показателя "Возраст"

При оценке связи показателя "ДДТП (Тест Вебера)" и показателя "Возраст" была установлена слабой тесноты прямая связь.

Наблюдаемая зависимость показателя "ДДТП (Тест Вебера)" от показателя "Возраст" описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$Y_{\text{ДДТП (Тест Вебера)}} = 0,032 \times X_{\text{Возраст}} + 3,294$$

При увеличении показателя "Возраст" на 1 следует ожидать увеличение показателя "ДДТП (Тест Вебера)" на 0,032. Полученная модель объясняет 2,0% наблюдаемой дисперсии показателя "ДДТП (Тест Вебера)".

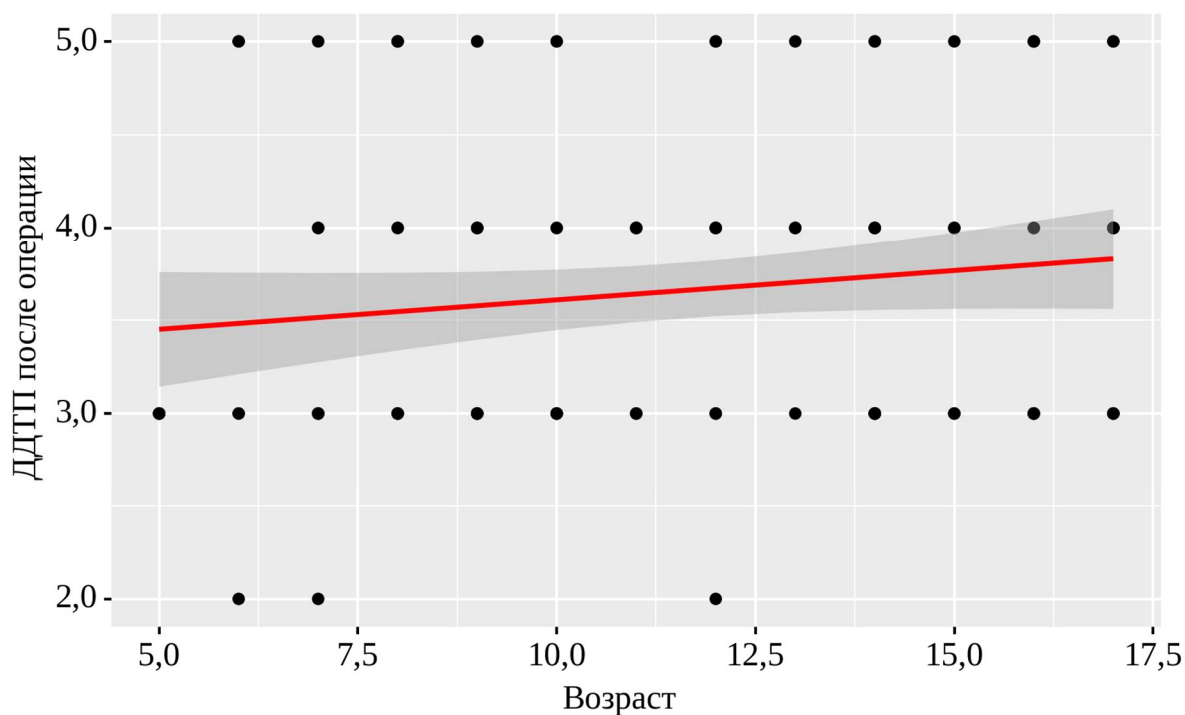


Рис. 34 График регрессионной функции, характеризующий зависимость показателя "ДДТП (Тест Вебера)" от показателя "Возраст"

При оценке связи показателя "S (чувствительность)" и показателя "Возраст" была установлена слабой тесноты обратная связь.

Наблюдаемая зависимость показателя "S (чувствительность)" от показателя "Возраст" описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$Y_{S(\text{чувствительность})} = -0,03 \times X_{\text{Возраст}} + 5,053$$

При увеличении показателя "Возраст" на 1 следует ожидать уменьшение показателя "S (чувствительность)" на 0,03. Полученная модель объясняет 5,4% наблюдаемой дисперсии показателя "S (чувствительность)".

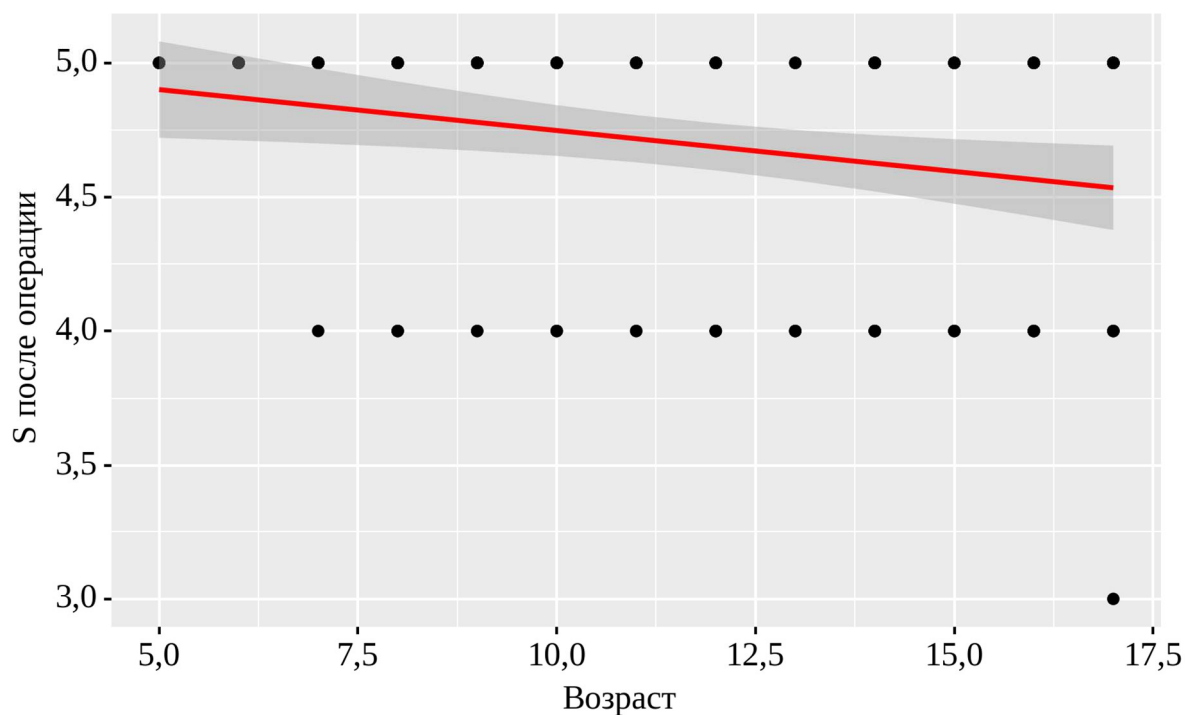


Рис. 35 График регрессионной функции, характеризующий зависимость показателя "S (чувствительность)" от показателя "Возраст"

При оценке связи показателя "М (двигательная функция)" и показателя "Возраст" была установлена слабой тесноты обратная связь.

Наблюдаемая зависимость показателя "М (двигательная функция)" от показателя "Возраст" описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$Y_{\text{М (двигательная функция)}} = -0,034 \times X_{\text{Возраст}} + 5,013$$

При увеличении показателя "Возраст" на 1 следует ожидать уменьшение показателя "М (двигательная функция)" на 0,034. Полученная модель объясняет 5,2% наблюдаемой дисперсии показателя "М (двигательная функция)".



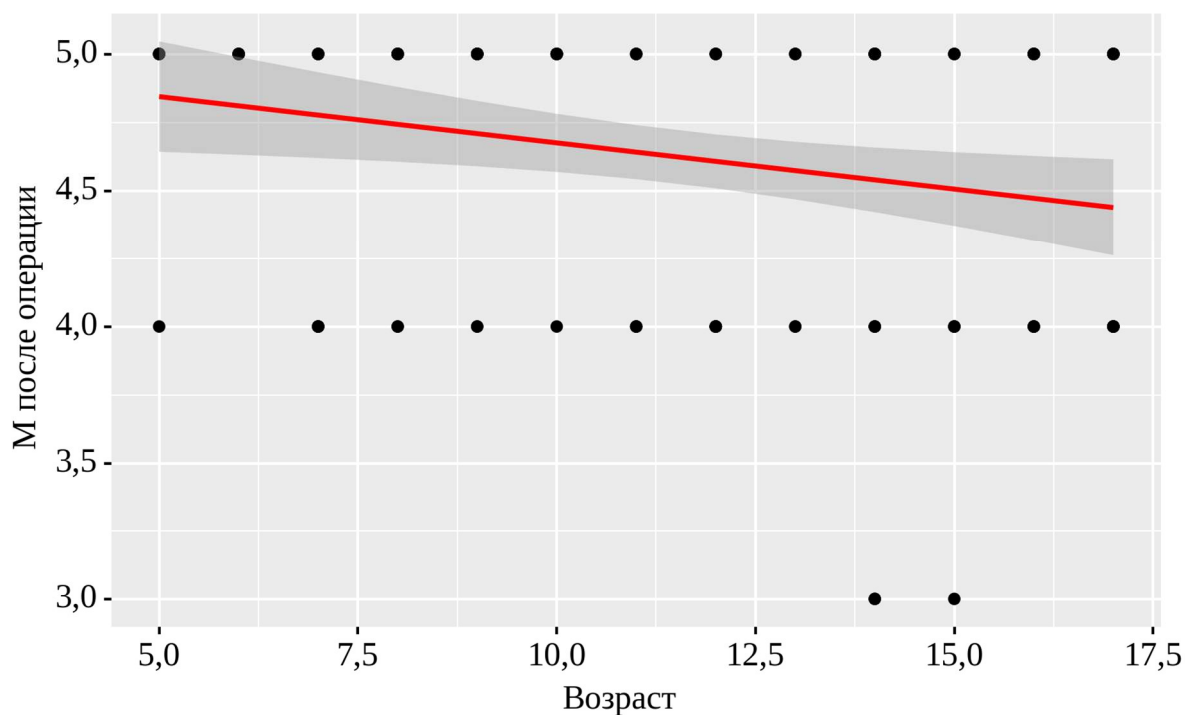


Рис. 36 График регрессионной функции, характеризующий зависимость показателя "М (двигательная функция)" от показателя "Возраст"

Был проведен корреляционный анализ взаимосвязи показателя "Возраст" и показателя "Время достижения удовлетворительных результатов".

Табл. 10 Результаты корреляционного анализа взаимосвязи возраста и времени достижения удовлетворительных результатов

Показатель	Характеристика корреляционной связи		
	$\rho$	Теснота связи по шкале Чеддока	p
Возраст – Время достижения удовлетворительных результатов	0,457	Умеренная	< 0,001*

\* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ )

При оценке связи показателя "Время достижения удовлетворительных результатов" и показателя "Возраст" была установлена умеренной тесноты прямая связь.

Наблюдаемая зависимость показателя "Время достижения удовлетворительных результатов" от показателя "Возраст" описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$Y_{\text{Время достижения удовлетворительных результатов}} = 0,351 \times X_{\text{Возраст}} + 5,39$$

При увеличении показателя "Возраст" на 1 следует ожидать увеличение показателя "Время достижения удовлетворительных результатов" на 0,351. Полученная модель объясняет 20,5% наблюдаемой дисперсии показателя "Время достижения удовлетворительных результатов".

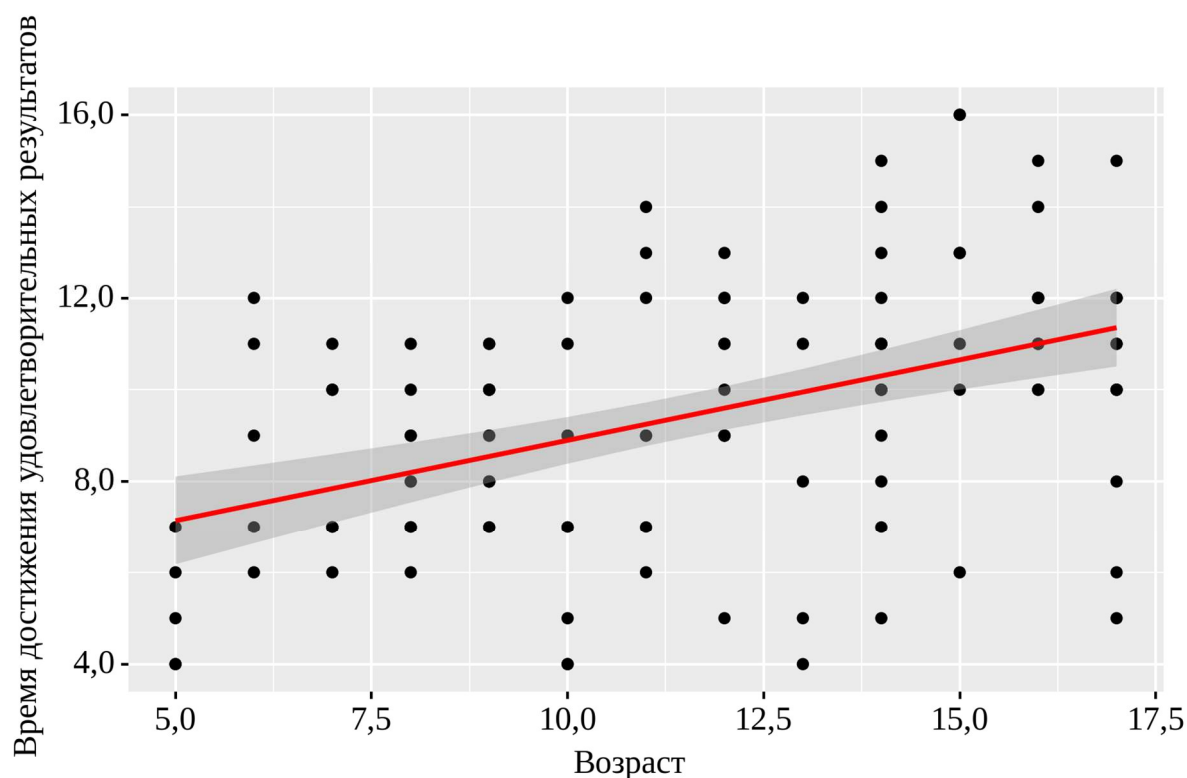


Рис. 37 График регрессионной функции, характеризующий зависимость показателя "Время достижения удовлетворительных результатов" от показателя "Возраст"

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что возраст напрямую влияет и на результаты лечения, и на время достижения удовлетворительных результатов у детей с повреждениями периферических нервов. При увеличении возраста можно ожидать более медленное восстановление функции, что вероятно связано, как с регенераторными возможностями, так и с большей длиной конечности и как следствие большим расстоянием, которое необходимо преодолеть аксону до органа-мишени.

## 4.2 Сравнение результатов лечения и времени достижения удовлетворительных результатов в зависимости от уровня повреждения нервного ствола

Для выявления влияния уровня повреждения нерва на восстановление функции нерва был проведен анализ результатов лечения детей с повреждениями периферических нервов в зависимости от уровня повреждения.

При анализе показателя "QuickDASH", показателя "ДДТП (Тест Вебера)", показателя "S (чувствительность)", показателя "М (двигательная функция)" в зависимости от показателя "Уровень повреждения", нам не удалось установить статистически значимых различий ( $p = 0,746$ ,  $p = 0,972$ ,  $p = 0,717$ ,  $p = 0,371$  соответственно) (используемые методы: Критерий Краскела–Уоллиса, Критерий Краскела–Уоллиса, Критерий Краскела–Уоллиса, Критерий Краскела–Уоллиса).

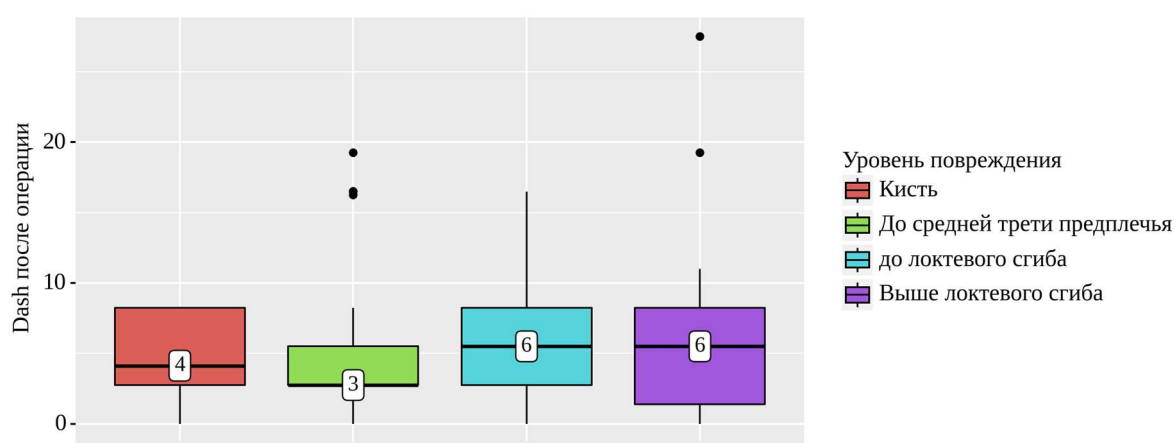


Рис.38 Анализ показателя "QuickDASH" в зависимости от показателя "Уровень повреждения"

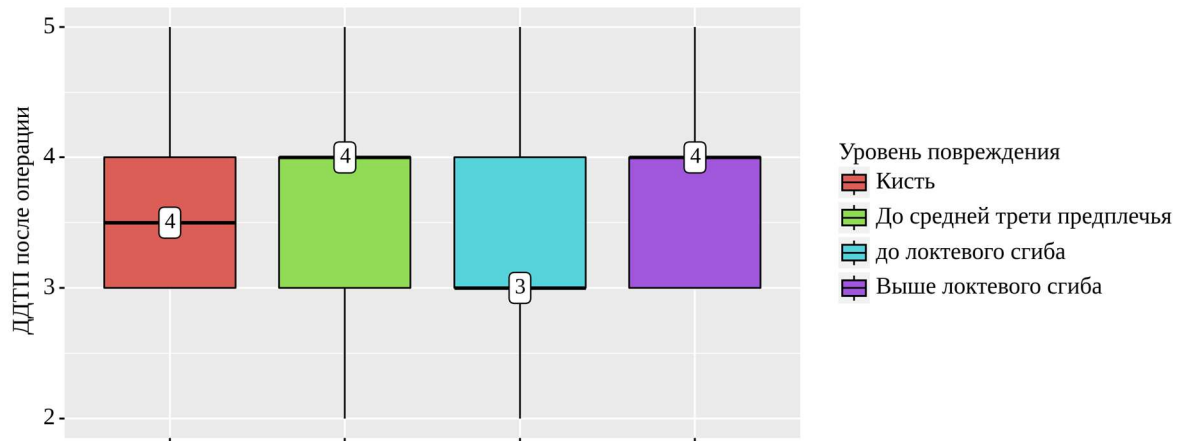


Рис. 39 Анализ показателя "ДДТП (Тест Вебера)" в зависимости от показателя "Уровень повреждения"

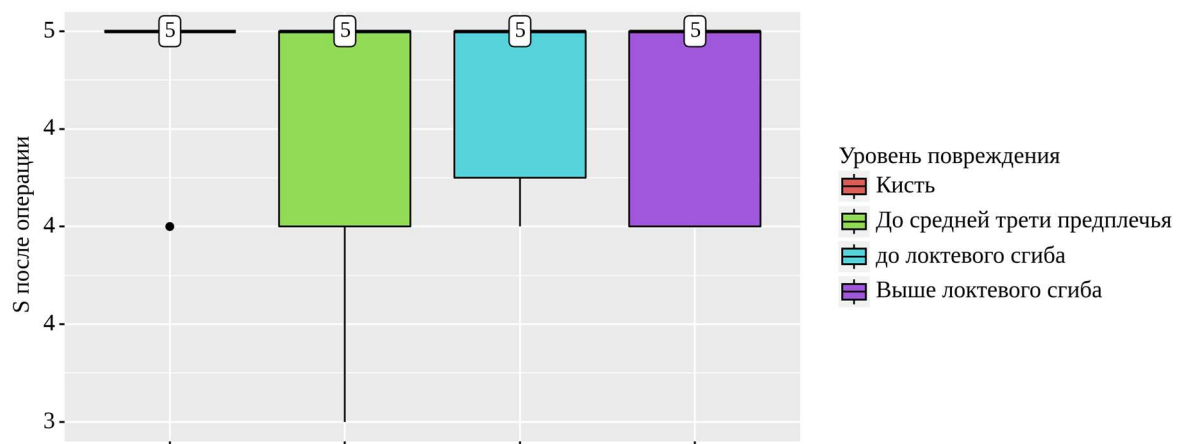


Рис. 40 Анализ показателя "S (чувствительность)" в зависимости от показателя "Уровень повреждения"

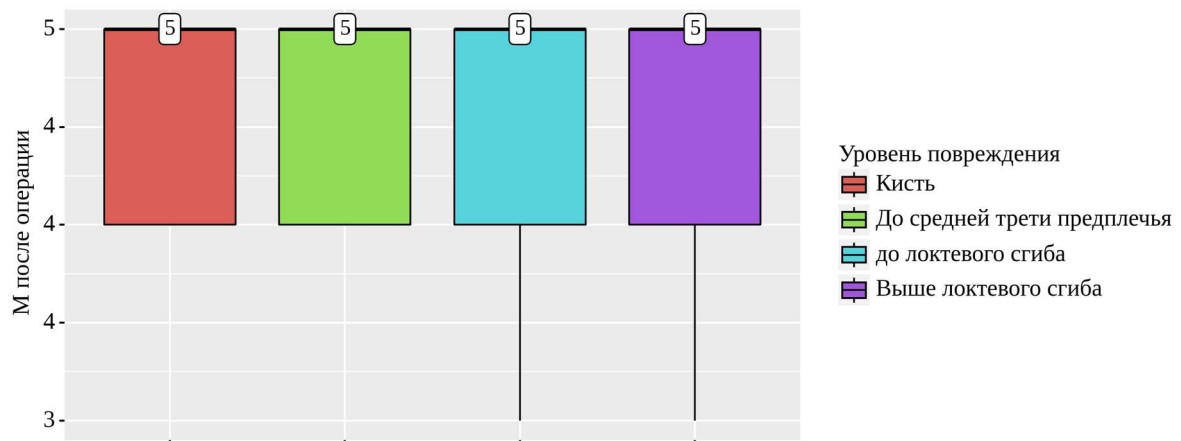


Рис.41 Анализ показателя "М (двигательная функция)" в зависимости от показателя "Уровень повреждения"

Был проведен анализ показателя "Время достижения удовлетворительных результатов" в зависимости от показателя "Уровень повреждения".

При сравнении показателя "Время достижения удовлетворительных результатов" в зависимости от показателя "Уровень повреждения", были выявлены существенные различия ( $p < 0,001$ ) (используемый метод: Критерий Краскела–Уоллиса).

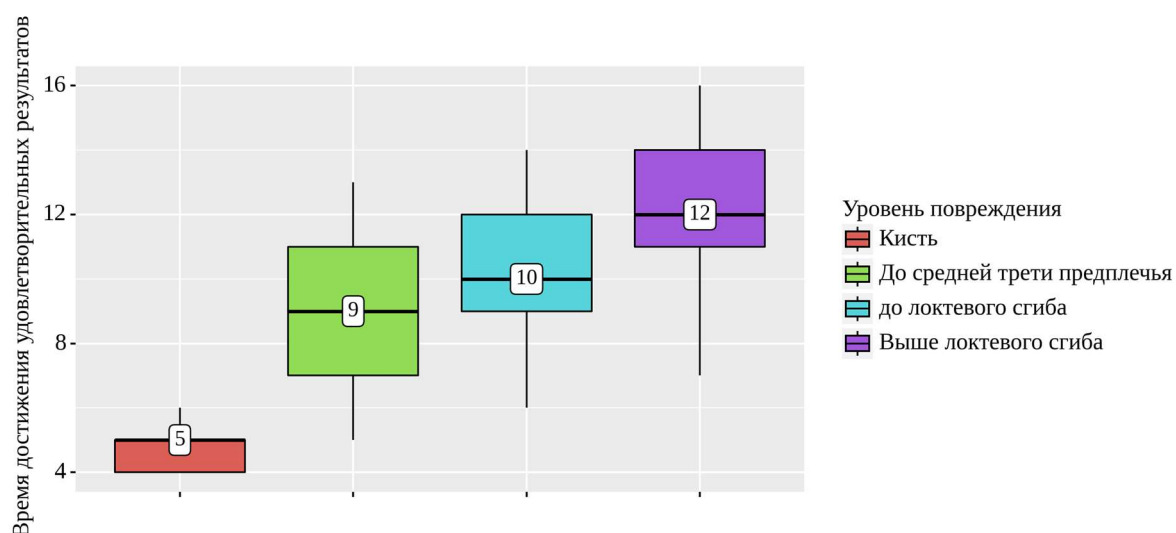


Рис. 42 Анализ показателя "Время достижения удовлетворительных результатов" в зависимости от показателя "Уровень повреждения"

Уровень повреждения не влияет напрямую на результаты лечения детей с повреждениями периферических нервов, однако существенно влияет на время достижения благоприятных результатов. Чем проксимальнее уровень повреждения, тем более длительное восстановление функции следует ожидать.

### 4.3 Анализ результатов лечения в зависимости от оперативного вмешательства

Был выполнен анализ результатов лечения детей с повреждениями периферических нервов верхней конечности в зависимости от оперативного вмешательства, выполненного им.

При оценке показателя "QuickDASH", показателя "ДДТП (Тест Вебера)", показателя "S (чувствительность)", показателя "М (двигательная функция)" в зависимости от показателя "Операция", не удалось установить статистически значимых различий ( $p = 0,142$ ,  $p = 0,696$ ,  $p = 0,872$ ,  $p = 0,565$  соответственно) (используемые методы: Критерий Краскела–Уоллиса, Критерий Краскела–Уоллиса, Критерий Краскела–Уоллиса, Критерий Краскела–Уоллиса).

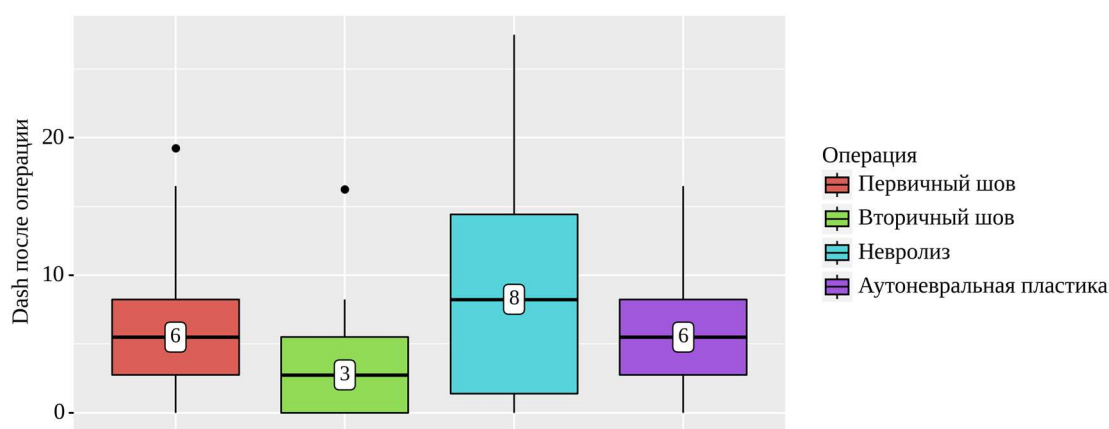


Рис. 43 Анализ показателя "QuickDASH" в зависимости от оперативного вмешательства

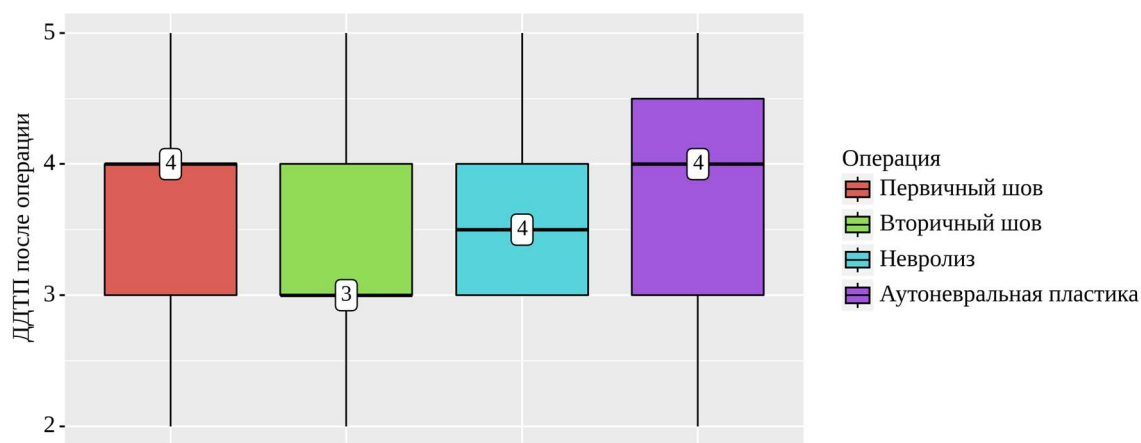


Рис.44 Анализ показателя "ДДТП (Тест Вебера)" в зависимости от оперативного вмешательства

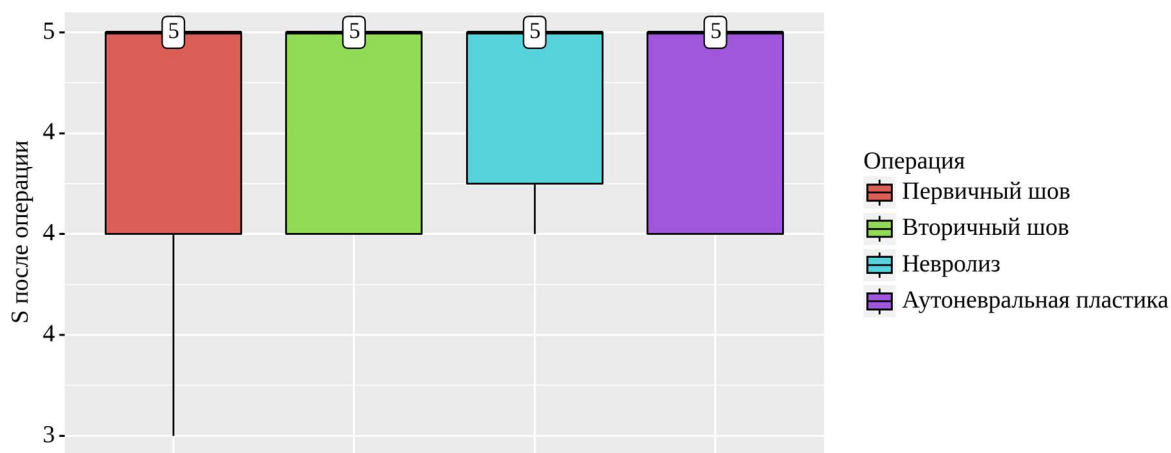


Рис.45 Анализ показателя "S (чувствительность)" в зависимости от оперативного вмешательства

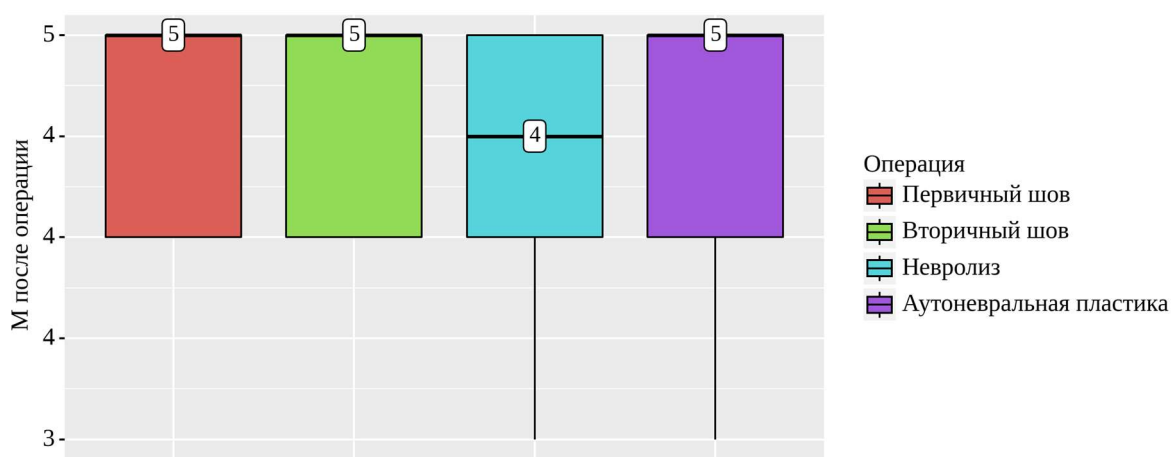


Рис. 46 Анализ показателя "М (двигательная функция)" в зависимости от оперативного вмешательства

Был выполнен анализ показателя "Время достижения удовлетворительных результатов" в зависимости от показателя "Операция".

При анализе показателя "Время достижения удовлетворительных результатов" в зависимости от показателя "Операция", были установлены существенные различия ( $p = 0,013$ ) (используемый метод:  $F$ -критерий Фишера).



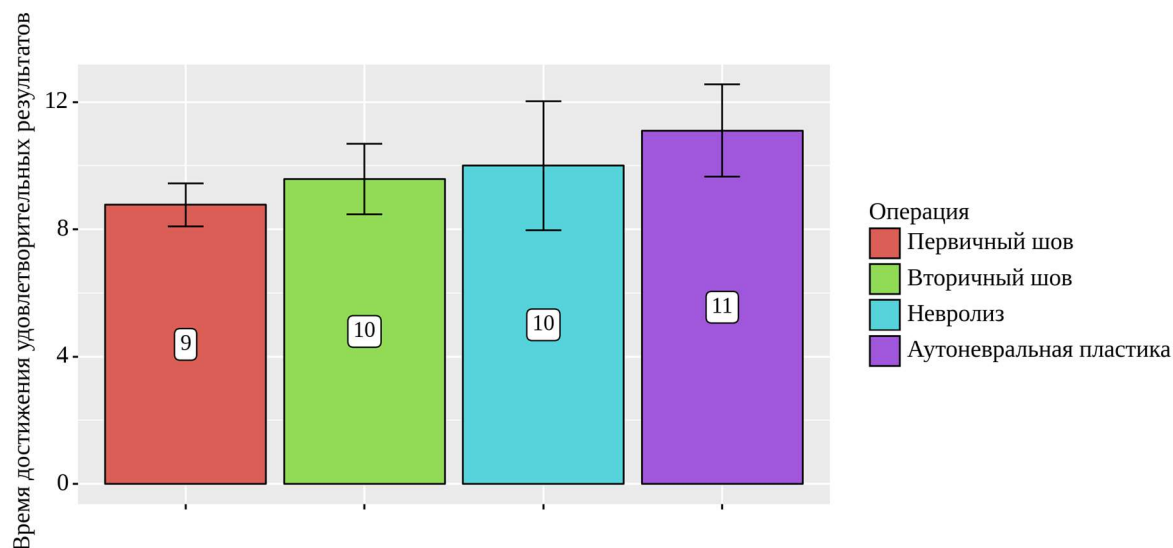


Рис. 47 Анализ показателя "Время достижения удовлетворительных результатов" в зависимости от показателя "Операция"

Таким образом при выполнении различных оперативных вмешательств при повреждениях периферических нервов у детей, можно ожидать одинаковое восстановление функции поврежденного нерва. Однако, более длительное восстановление будет при выполнении аутоневральной пластики нервного ствола.

#### 4.4 Анализ влияния сроков с момента травмы до оперативного вмешательства на результаты лечения и время восстановления функции нерва

##### Сравнение результатов лечения детей с травмами нервного ствола в ранний и поздний период

Для выявления влияния сроков с момента травмы до оперативного вмешательства на восстановление функции нерва был выполнен анализ результатов в зависимости от сроков – до 3 недель и более 3 недель.

При анализе показателя "QuickDASH", показателя "ДДТП (Тест Вебера)", показателя "S (чувствительность)", показателя "М (двигательная функция)" в зависимости от прошедшего времени с момента травмы до оперативного вмешательства, не удалось установить статистически значимых различий ( $p = 0,247$ ,  $p = 0,678$ ,  $p = 0,390$ ,  $p = 0,205$  соответственно) (используемые методы: *U-критерий Манна–Уитни*, *U-критерий Манна–Уитни*, *U-критерий Манна–Уитни*, *U-критерий Манна–Уитни*).

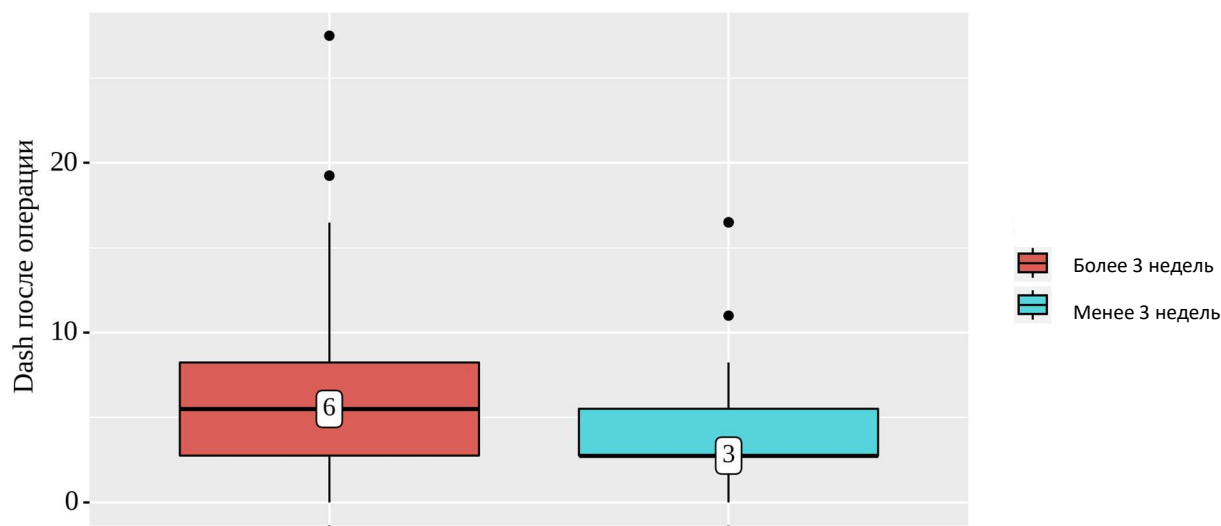


Рис. 48 Анализ показателя "QuickDASH" в зависимости от показателя групп

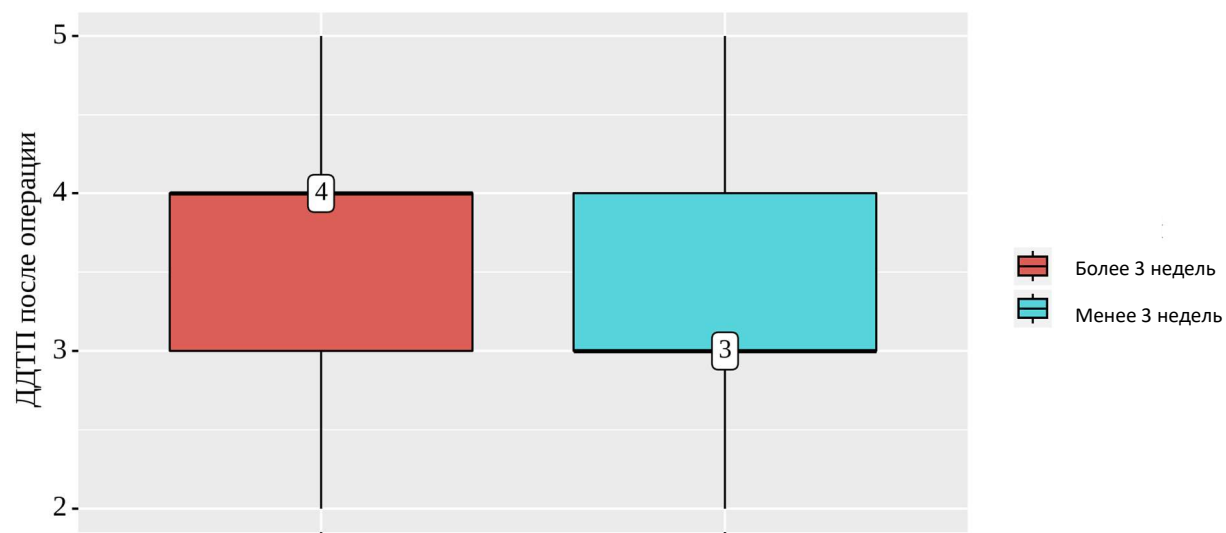


Рис. 49 Анализ показателя "ДДТП (Тест Вебера)" в зависимости от групп

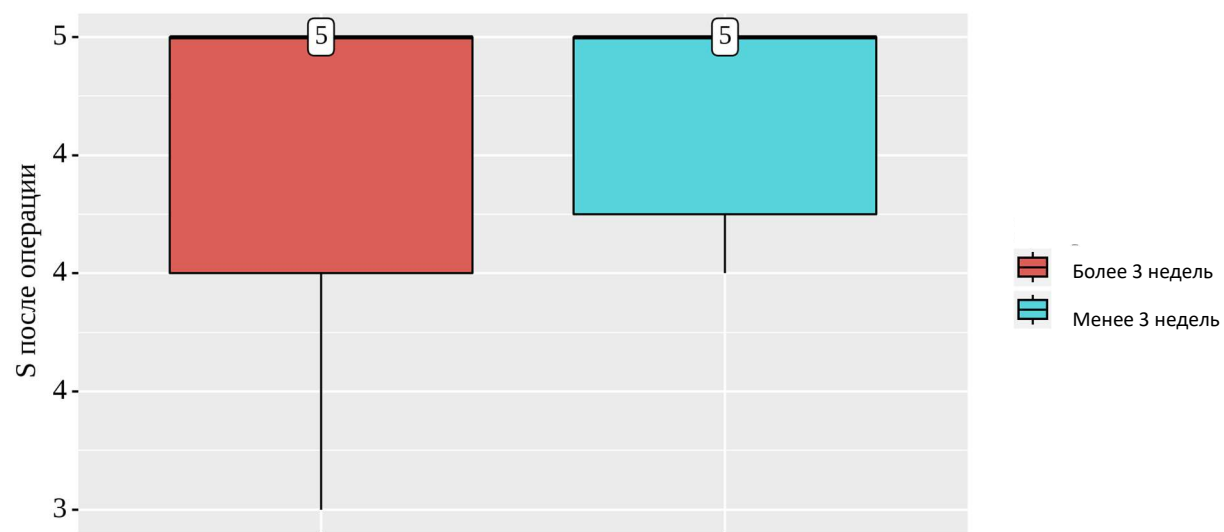


Рис. 50 Анализ показателя "S (чувствительность)" в зависимости от групп

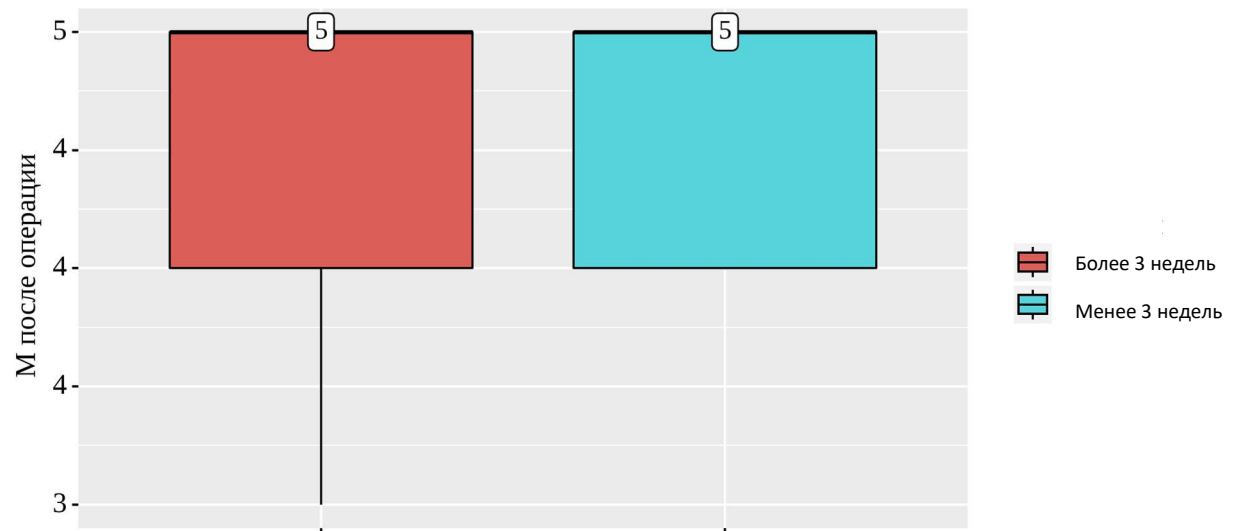


Рис.51 Анализ показателя "М (двигательная функция)" в зависимости от групп

Различий в результатах лечения детей с повреждениями периферических нервов в раннем и позднем периоде не было выявлено. Для дальнейшего изучения влияния времени, которое прошло с момента травмы до оперативного вмешательства на результаты лечения – пациенты, которым операция выполнена в позднем периоде были разделены на 4 группы, в зависимости от возможностей регенерации нервного волокна

## Сравнение групп в зависимости срока, который прошел с момента травмы до оперативного вмешательства

Был проведен анализ результатов в зависимости от сроков с момента травмы до оперативного вмешательства – от 3х недель до 3 месяцев, от 4х месяцев до 6 месяцев, от 7 месяцев до 11 месяцев и более 12 месяцев.

При оценке показателя "ДДТП (Тест Вебера)", показателя "S (чувствительность)", показателя "М (двигательная функция)" в зависимости от показателя "Группы времени", были установлены статистически значимые различия ( $p = 0,012$ ,  $p = 0,042$ ,  $p < 0,001$  соответственно) (используемые методы: Критерий Краскела–Уоллиса, Критерий Краскела–Уоллиса, Критерий Краскела–Уоллиса). При оценке показателя "QuickDASH" в зависимости от показателя "Группы времени", нам не удалось выявить значимых различий ( $p = 0,173$ ) (используемый метод: Критерий Краскела–Уоллиса).

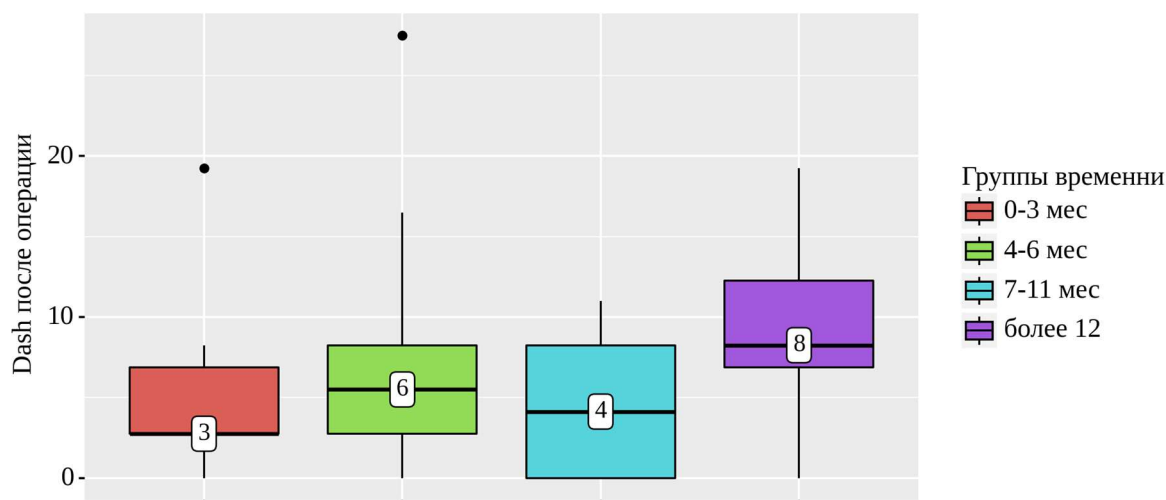


Рис.52 Анализ показателя "QuickDASH" в зависимости от групп

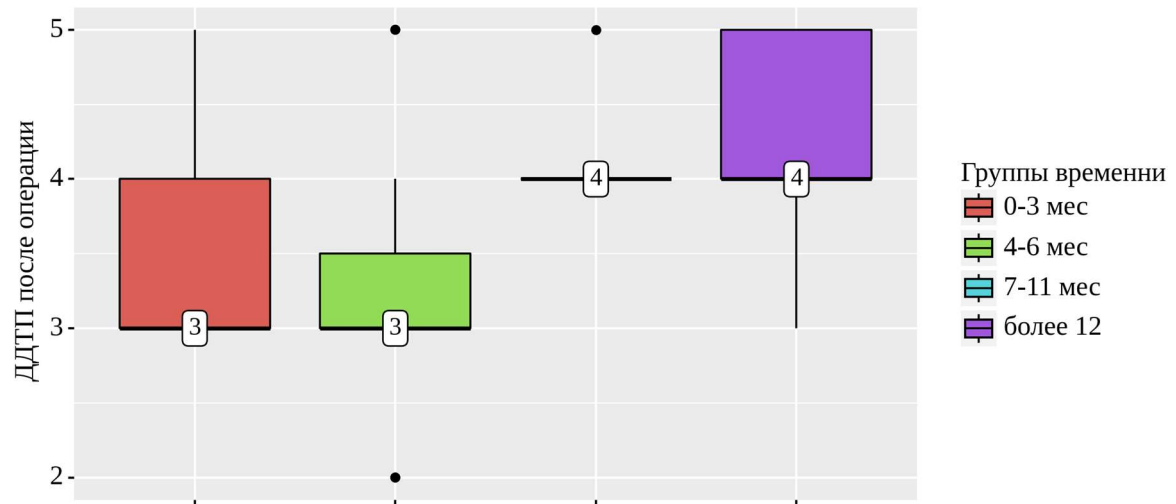


Рис.53 Анализ показателя "ДДТП (Тест Вебера)" в зависимости от групп

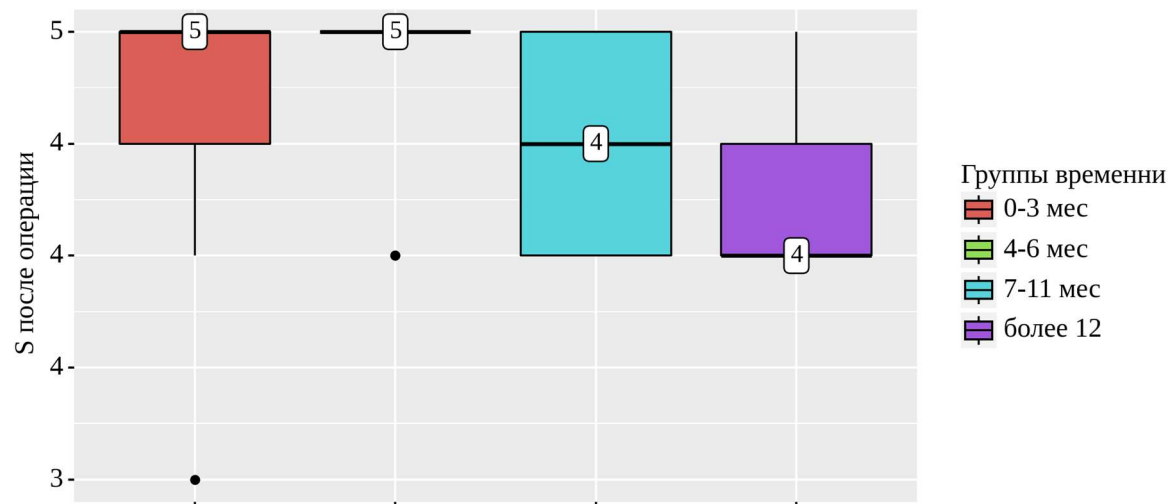


Рис. 54 Анализ показателя "S (чувствительность)" в зависимости от групп

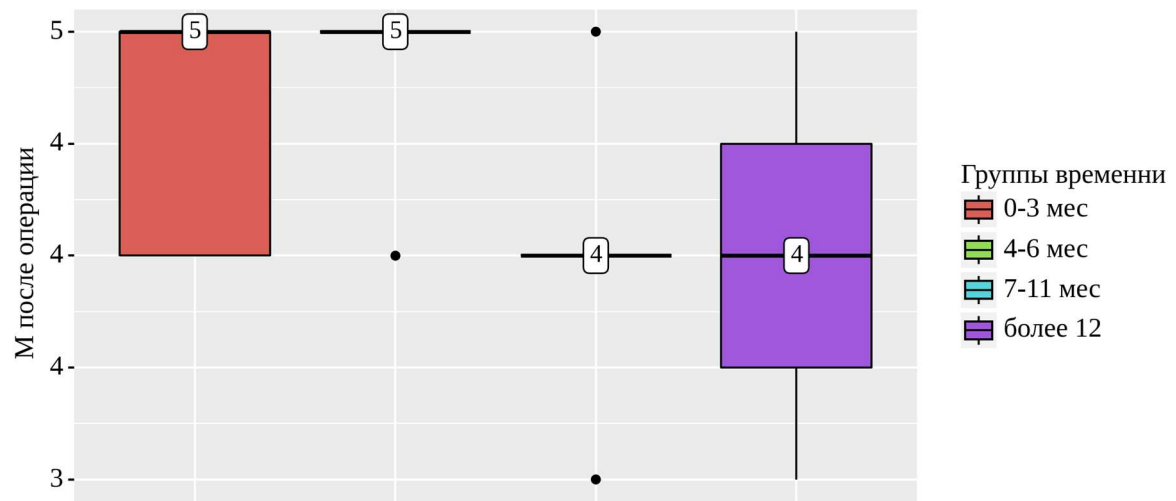


Рис. 55 Анализ показателя "М (двигательная функция)" в зависимости от групп

Исходя из данных полученных в результате анализа результатов лечения можно сделать вывод, что удовлетворительный результат достигнут во всех группах, однако, чем больше срок с момента травмы до оперативного вмешательства, тем худшее восстановление функции можно ожидать. При этом хотелось бы отметить, что в группе более 12 месяцев наблюдались дети с отличными результатами.

## Влияние времени с момента травмы на время восстановления функции нерва

Был проведен корреляционный анализ взаимосвязи показателя "Время с момента травмы" и показателя "Время достижения удовлетворительных результатов".

Табл. 11 Результаты корреляционного анализа взаимосвязи времени с момента травмы и времени для достижения удовлетворительных результатов

Показатель	Характеристика корреляционной связи		
	$\rho$	Теснота связи по шкале Чеддока	p
Время с момента травмы – Время достижения удовлетворительных результатов	0,335	Умеренная	< 0,001*

\* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ )

При оценке связи показателя "Время достижения удовлетворительных результатов" и показателя "Время с момента травмы" была установлена умеренной тесноты прямая связь.

Наблюдаемая зависимость показателя "Время достижения удовлетворительных результатов" от показателя "Время с момента травмы" описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$Y_{\text{Время достижения удовлетворительных результатов}} = 0,297 \times X_{\text{Время с момента травмы}} + 8,704$$

При увеличении показателя "Время с момента травмы" на 1 следует ожидать увеличение показателя "Время достижения удовлетворительных результатов".



результатов" на 0,297. Полученная модель объясняет 15,6% наблюдаемой дисперсии показателя "Время достижения удовлетворительных результатов".

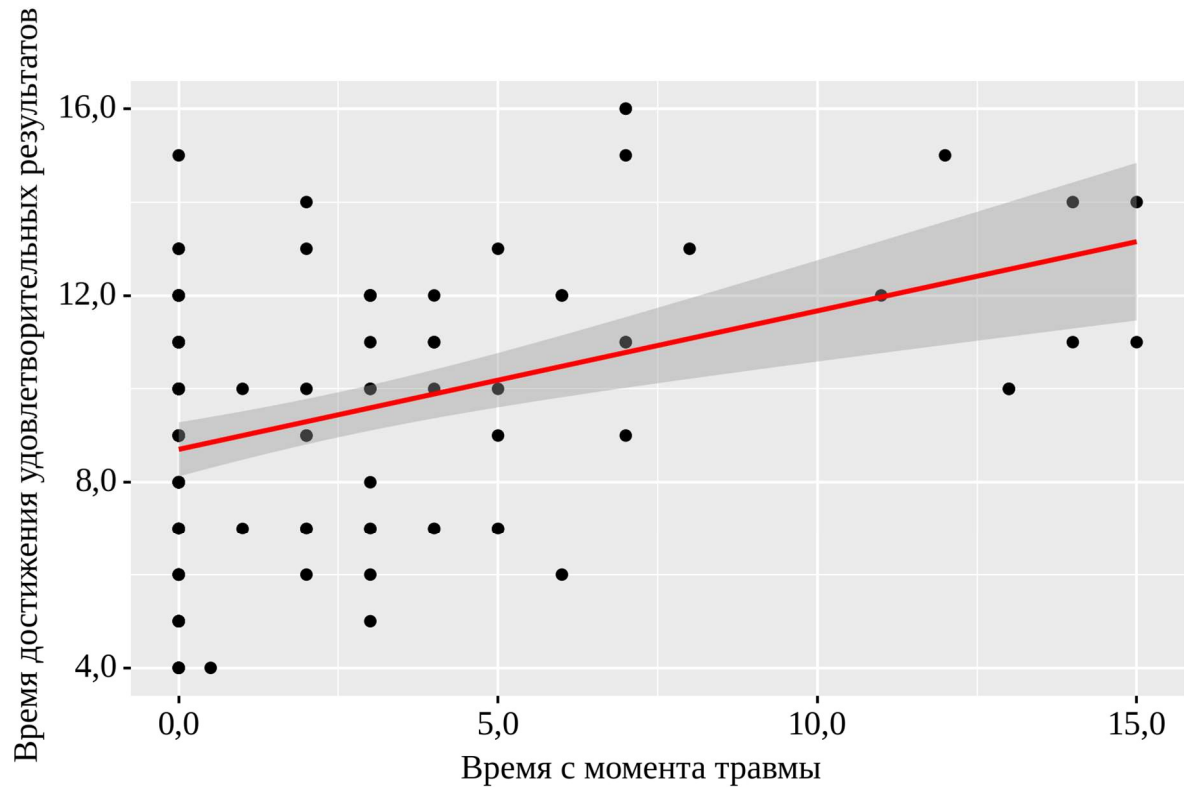


Рис. 56 График регрессионной функции, характеризующий зависимость показателя "Время достижения удовлетворительных результатов" от показателя "Время с момента травмы"

Был выполнен корреляционный анализ взаимосвязи показателя "Время с момента травмы" и результатов.

Табл. 12 Результаты корреляционного анализа взаимосвязи времени с момента травмы и результатов лечения

Показатели	Характеристика корреляционной связи		
	$\rho$	Теснота связи по шкале Чеддока	$p$

Время с момента травмы QuickDASH	0,158	Слабая	0,094
Время с момента травмы – ДДТП (Тест Вебера)	0,089	Нет связи	0,346
Время с момента травмы – S (чувствительность)	-0,129	Слабая	0,172
Время с момента травмы – М (двигательная функция)	-0,184	Слабая	0,050*

\* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ )

При оценке связи показателя "QuickDASH" и показателя "Время с момента травмы" была установлена слабой тесноты прямая связь.

Наблюдаемая зависимость показателя "QuickDASH" от показателя "Время с момента травмы" описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$Y_{\text{QuickDASH}} = 0,295 \times X_{\text{Время с момента травмы}} + 4,597$$

При увеличении показателя "Время с момента травмы" на 1 следует ожидать увеличение показателя "QuickDASH" на 0,295. Полученная модель объясняет 5,1% наблюдаемой дисперсии показателя "QuickDASH".

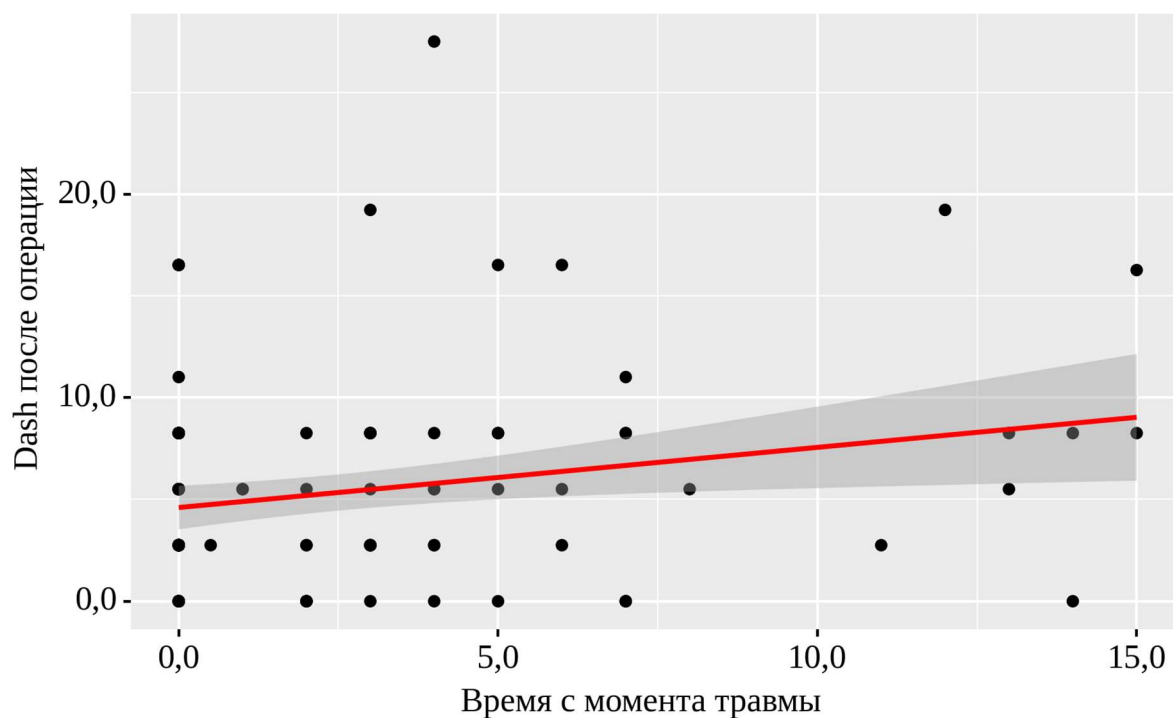


Рис. 57 График регрессионной функции, характеризующий зависимость показателя "QuickDASH" от показателя "Время с момента травмы"

При оценке связи показателя "ДДТП (Тест Вебера)" и показателя "Время с момента травмы" связь отсутствовала.

Наблюдаемая зависимость показателя "ДДТП (Тест Вебера)" от показателя "Время с момента травмы" описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$Y_{\text{ДДТП (Тест Вебера)}} = 0,036 \times X_{\text{Время с момента травмы}} + 3,569$$

При увеличении показателя "Время с момента травмы" на 1 следует ожидать увеличение показателя "ДДТП (Тест Вебера)" на 0,036. Полученная модель объясняет 2,8% наблюдаемой дисперсии показателя "ДДТП (Тест Вебера)".

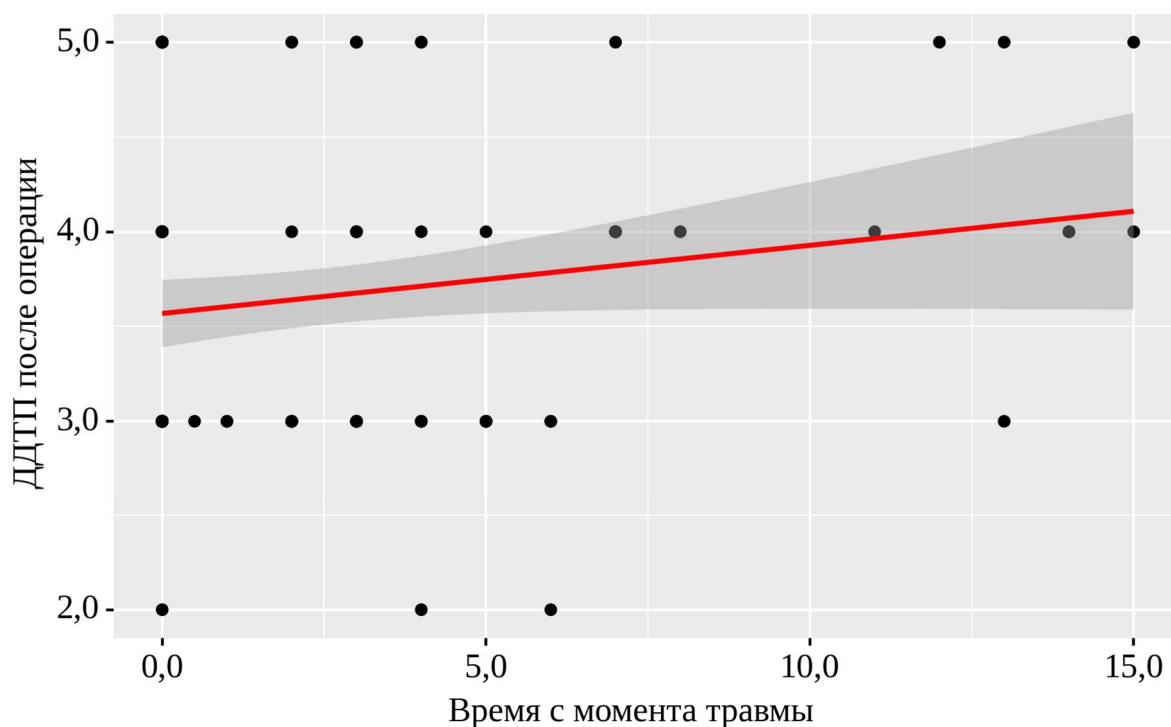


Рис. 58 График регрессионной функции, характеризующий зависимость показателя "ДДТП (Тест Вебера)" от показателя "Время с момента травмы"

При оценке связи показателя "S (чувствительность)" и показателя "Время с момента травмы" была установлена слабой тесноты обратная связь.

Наблюдаемая зависимость показателя "S (чувствительность)" от показателя "Время с момента травмы" описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$Y_{\text{S чувствительность}} = -0,026 \times X_{\text{Время с момента травмы}} + 4,765$$

При увеличении показателя "Время с момента травмы" на 1 следует ожидать уменьшение показателя "S (чувствительность)" на 0,026. Полученная модель объясняет 4,0% наблюдаемой дисперсии показателя "S (чувствительность)".

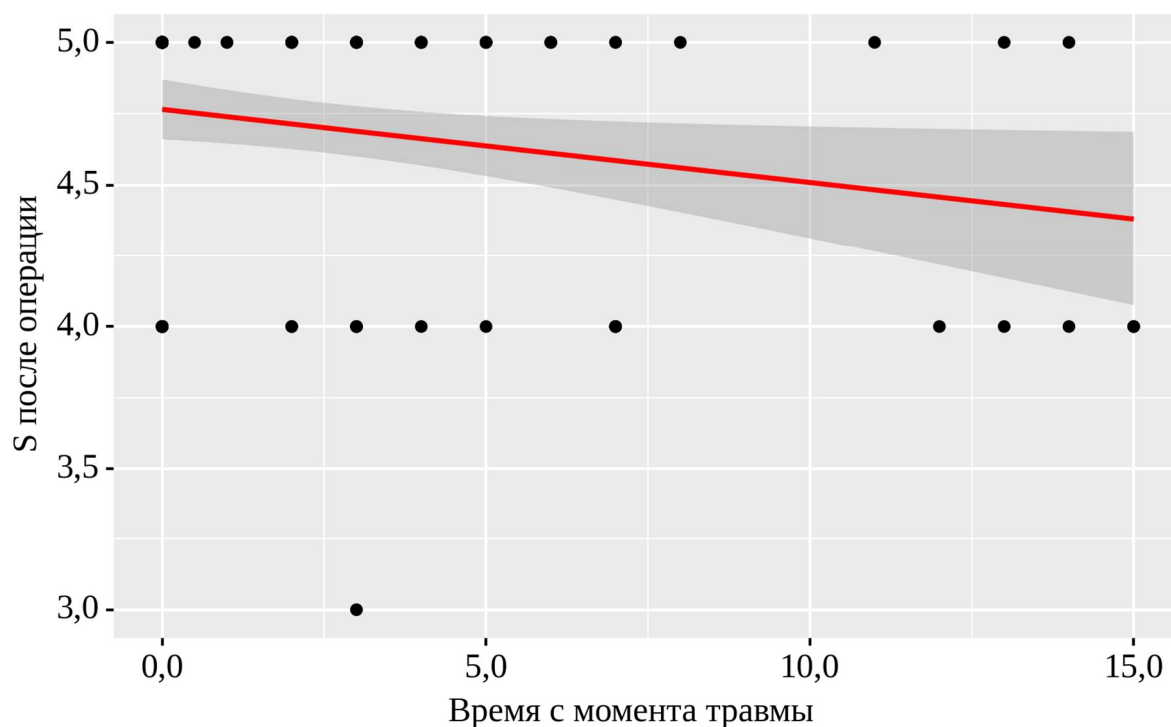


Рис. 59 График регрессионной функции, характеризующий зависимость показателя "S (чувствительность)" от показателя "Время с момента травмы"

При оценке связи показателя "М (двигательная функция)" и показателя "Время с момента травмы" была установлена слабой тесноты обратная связь.

Наблюдаемая зависимость показателя "М (двигательная функция)" от показателя "Время с момента травмы" описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$Y_{\text{М двигательная функция}} = -0,044 \times X_{\text{Время с момента травмы}} + 4,733$$

При увеличении показателя "Время с момента травмы" на 1 следует ожидать уменьшение показателя "М (двигательная функция)" на 0,044. Полученная модель объясняет 9,5% наблюдаемой дисперсии показателя "М (двигательная функция)".

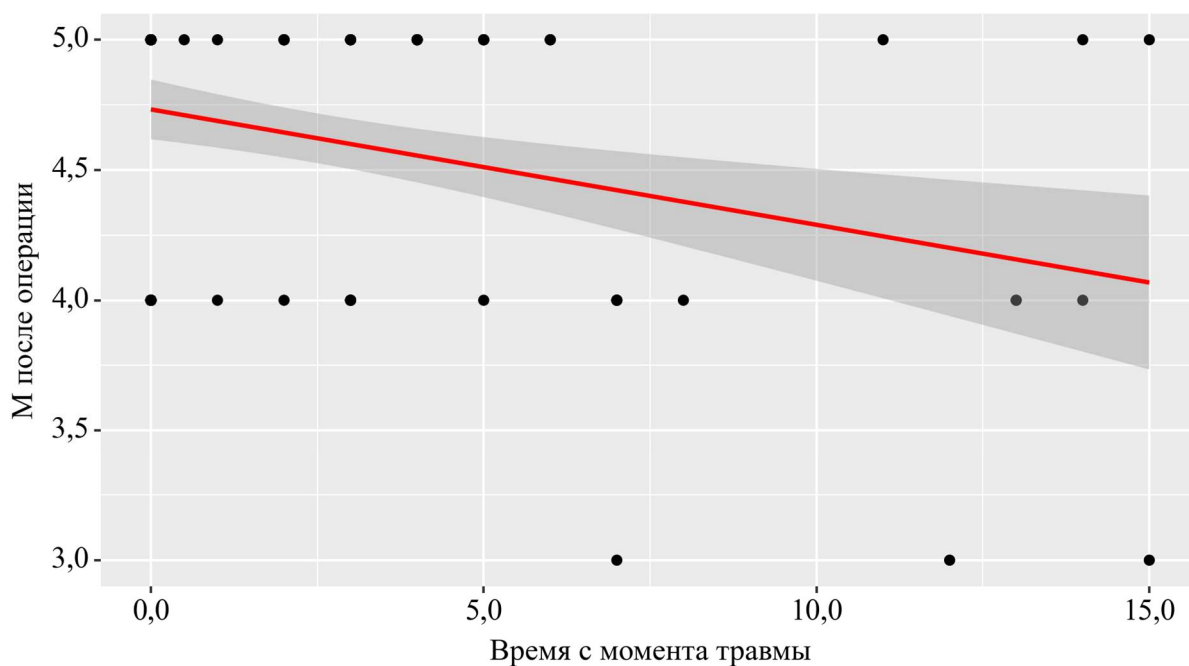


Рис. 60 График регрессионной функции, характеризующий зависимость показателя "М (двигательная функция)" от показателя "Время с момента травмы"

Таким образом, время, которое прошло с момента травмы до непосредственно оперативного вмешательства, напрямую влияет (увеличивает время регенерации и ухудшает результаты после оперативного вмешательства) как на результаты лечения детей с повреждениями периферических нервов верхней конечности у детей, так и на время достижения удовлетворительных результатов – т.е. реабилитационный период. Чем позже выполнено оперативное вмешательство, тем дольше реабилитационный период и хуже прогнозируемые результаты восстановления функции поврежденного нерва.

#### 4.5 Оценка влияния реабилитационных мероприятий на результаты лечения детей с повреждениями периферических нервов

Для того чтобы определить значимость реабилитационных мероприятий, пациенты были разделены на 2 группы – те, которым выполнялись реабилитационные мероприятия и те у которых не было такой возможности или они ей пренебрегали.

Был проведен анализ результатов в зависимости от наличия реабилитационных мероприятий

В соответствии с представленной таблицей при оценке показателя "QuickDASH", показателя "М (двигательная функция)" в зависимости от наличия реабилитационных мероприятий, были выявлены статистически значимые различия ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,001$  соответственно) (используемые методы: *U-критерий Манна–Уитни*, *U-критерий Манна–Уитни*). При оценке показателя "ДДТП (Тест Вебера)", показателя "S (чувствительность)" в зависимости от наличия реабилитационных мероприятий, нам не удалось выявить значимых различий ( $p = 0,844$ ,  $p = 0,084$  соответственно) (используемые методы: *U-критерий Манна–Уитни*, *U-критерий Манна–Уитни*).

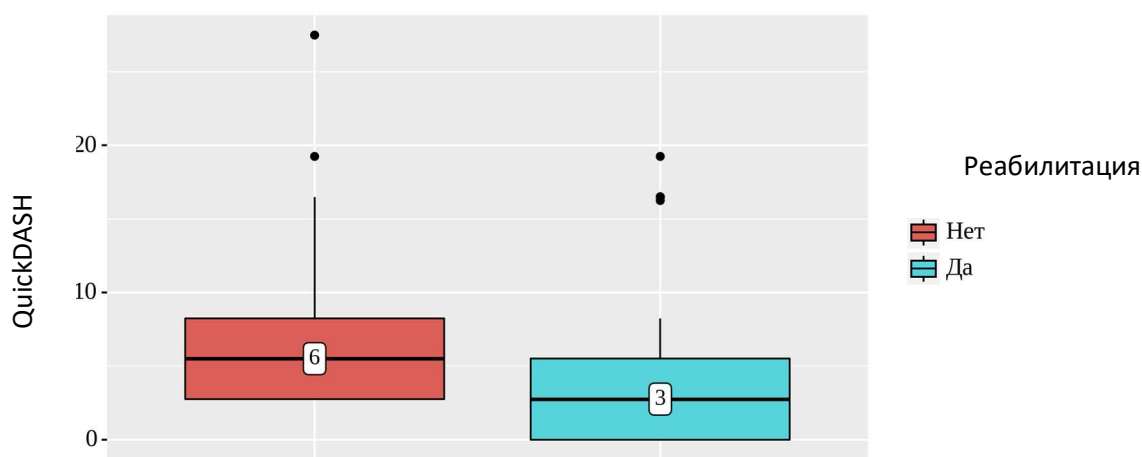


Рис. 61 Анализ показателя QuickDASH

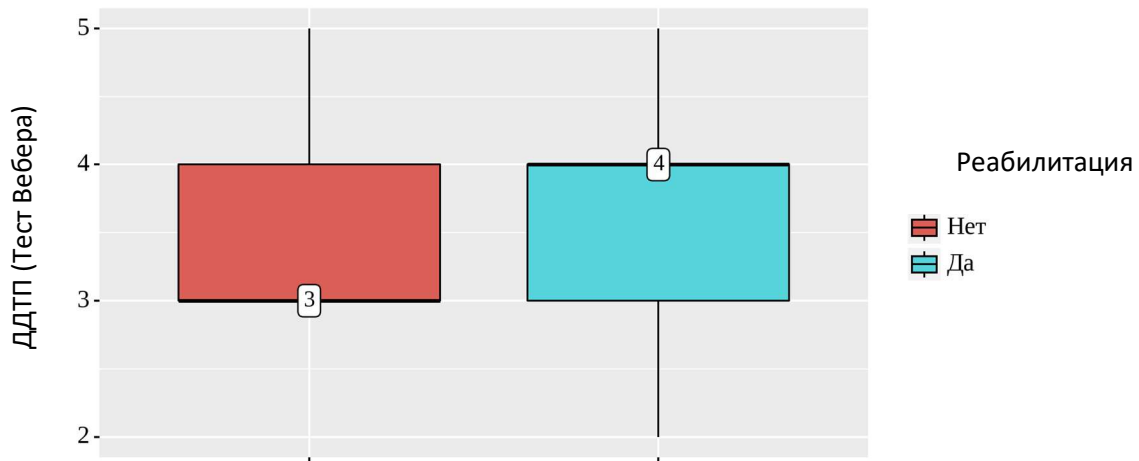


Рис. 62 Анализ показателя ДДТП (Тест Вебера)

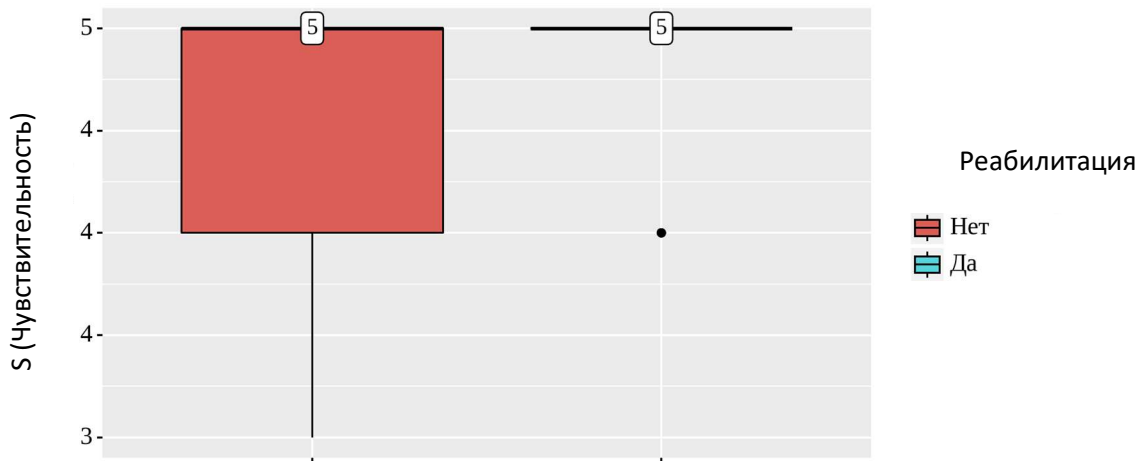


Рис. 63 Анализ показателя S (чувствительность)

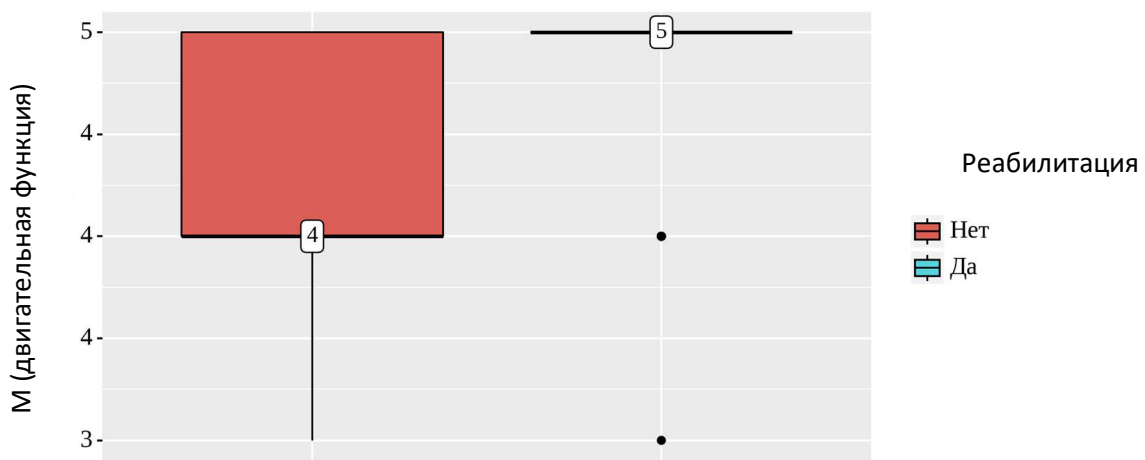


Рис. 64 Анализ показателя M (двигательная функция)



Пациенты, получавшие специализированные реабилитационные мероприятия, лучше оценивают состояние верхней конечности, нежели чем пациенты, у которых реабилитационные мероприятия не проводились. Также пациенты с реабилитационными мероприятиями имели большую мышечную силу, чем пациенты другой группы. Исходя из этого – реабилитационные мероприятия – это важный этап всего лечения детей с повреждениями периферических нервов, которые позволяют достигать отличных результатов и пренебрегать ими не следует.

Основываясь на полученных данных, был создан протокол обследования и тактики ведения пациентов с признаками нейропатии с травматическими повреждениями верхней конечности.

При наличии открытого повреждения в проекции нервных стволов необходимо всегда выполнять ревизию для оценки состояния периферического нерва. При наличии повреждения нерва – выполнение первичного эпиневрального шва. Если после первичного оперативного вмешательства - ушивание раны выявлена клиника нейропатии – УЗИ в срочном порядке.

Если клиника нейропатии появилась после закрытых травматических повреждений - переломах костей верхней конечности, необходимо после снятия гипсового лонгета выполнение комплекса диагностических мероприятий – УЗИ и игольчатая ЭМГ. При наличии нарушения целостности по данным УЗИ – показано оперативное вмешательство в срочном порядке. В случае, когда по данным УЗИ нет повреждения нерва, но есть нарушение проводимости – необходимо соблюдение реабилитационных мероприятий и контрольное комплексное обследование через 3 месяца. Если динамика отсутствует, то необходимо оперативное вмешательство. Все описанное выше справедливо при сроке до 15 месяцев, если срок превышает 15 месяцев, то необходимо выполнение мышечно-сухожильных пластик.

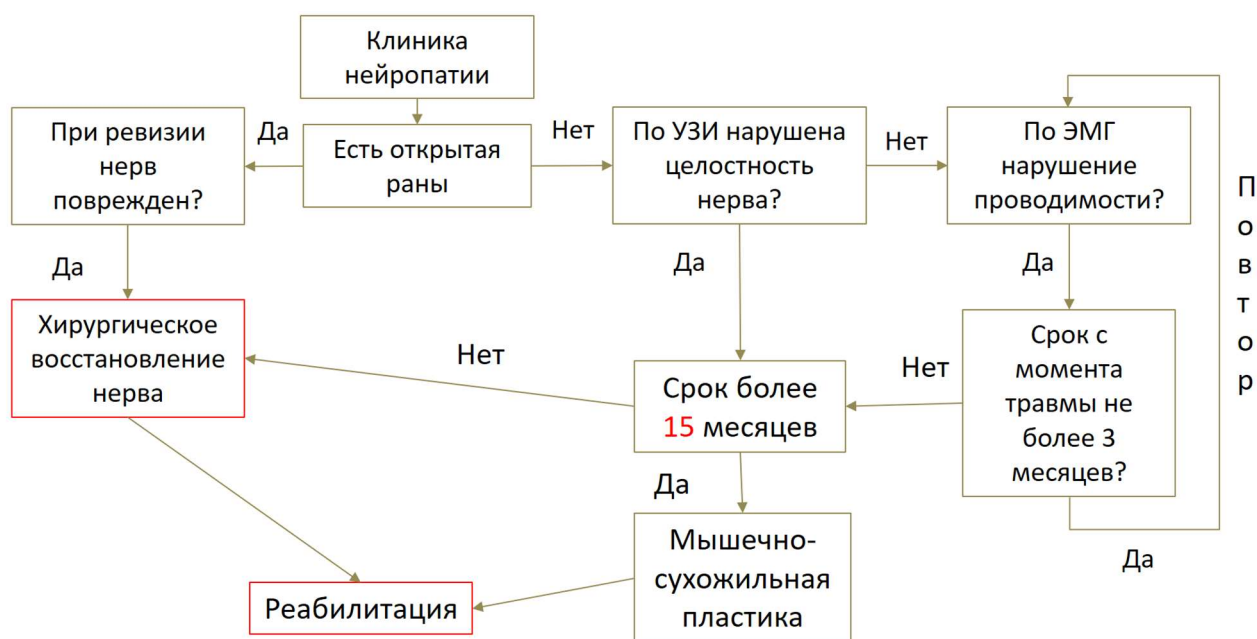


Рис. 65 Тактика ведения больных с посттравматической нейропатией

Учитывая сложность оперативного вмешательства и выбора способа восстановления целостности периферического нерва при застарелых повреждениях, также был предложен алгоритм. Так при отсутствии динамики по данным ЭМГ и УЗИ в течение 3 месяцев необходимо выполнение оперативного вмешательства – если отсутствует видимое повреждение ствола нерва и неврома – выполняется невролиз. В том случае, когда есть повреждение нерва важным аспектом является диастаз между концами нерва после иссечения концевой невромы. Если менее 2-3 см, то возможно выполнение эпинеурального шва, если больше 2-3 см, то необходимо выполнить пластику нерва одним из возможных способов (аутоневральная пластика, нервные кондуиты и т.д.)

## Глава 5. КЛИНИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

### 5.1 Невролиз

Клинический пример 1: Пациент У. 14 лет получила травму в феврале 2018 года – закрытый чрезмыщелковый перелом левой плечевой кости со смещением. По месту жительства была выполнена репозиция и металлоостеосинтез спицами. В дальнейшем была выявлена нейропатия срединного и локтевого нервов. Спустя

11 месяцев реабилитационных мероприятий, которые не привели к какому-либо эффекту, пациент обратился за консультацией к микрохирургу. Пациент был обследован. При клиническом осмотре – отсутствие чувствительности зон иннервации локтевого и срединного нервов, отсутствие движений, когтеобразная деформация кисти. По данным УЗИ – выраженный рубцовый процесс, в который вовлекаются срединный и локтевой нервы. По данным игольчатой ЭМГ проводимость по локтевому и срединному нервам отсутствует. Ребенок был госпитализирован. Внешний вид на момент госпитализации рис.64



Рис. 66 Внешний вид до оперативного вмешательства.

Во время операции локтевой и срединный нервы были выделены из рубцовых сращений. При проведении инъекционной пробы лидокаином внутриствольных рубцовых изменений не выявлено. Рана ушита послойно. Назначены реабилитационные мероприятия.

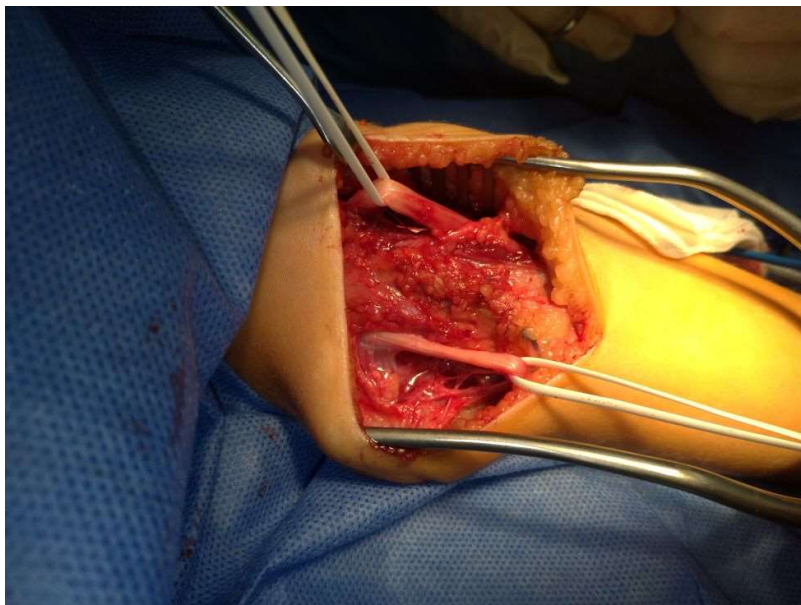


Рис. 67 Интраоперационное фото. Выделены срединный и локтевой нервы.

Спустя 12 месяцев наблюдался удовлетворительный результат – S4M5. Тест Вебера 5 мм, QuickDash 8,25.

## 5.2 Первичный шов

Клинический пример 2: Пациент В. 11 лет получил резаную рану нижней трети левого предплечья. Бригадой СМП доставлены в ДГКБ им Филатов. Пациент осмотрен дежурным микрохирургом – отсутствует чувствительность по ладонной поверхности 1-2-3 пальцев, невозможность противопоставления 1 пальца и в экстренном порядке ребенок доставлен в операционную. Для удобства ревизии рана расширена с помощью дополнительных разрезов. Визуализированы концы срединного нерва и выполнен первичный эпиневральный шов нерва Dafilon 8/0 (Рис. 65).

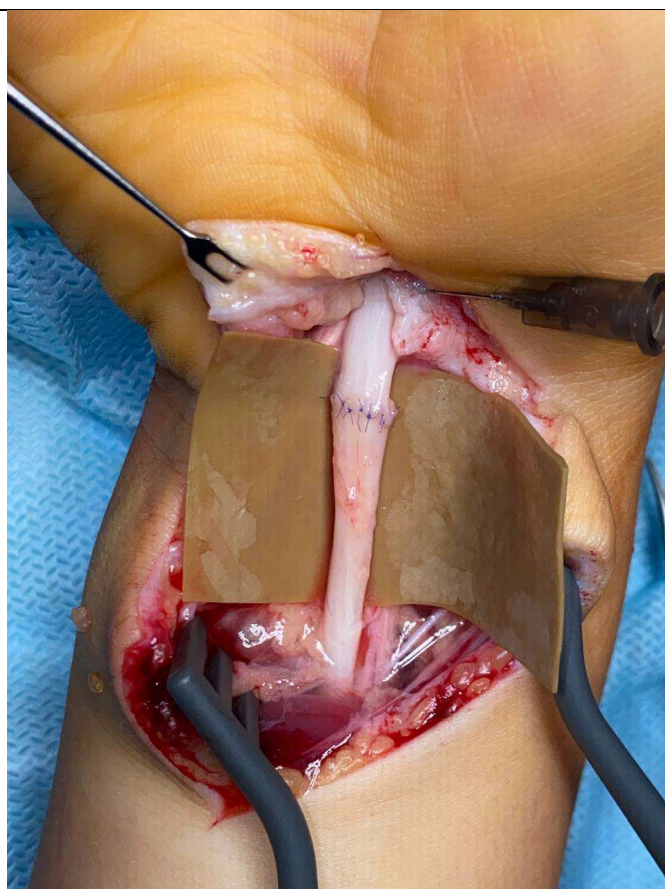


Рис. 68 Первичный эпиневральный шов срединного нерва

В послеоперационном периоде выполнялись реабилитационные мероприятия. Через 7 месяцев достигнуты удовлетворительные результаты S3 M4 и спустя еще 2 месяца достигнуты отличные результаты – S4 M5, QuickDASH 2,75, Тест Вебера 5 мм.

### 5.3 Аутоневральная пластика

Клинический пример 3: Пациент А. 13 лет получил резаную рану левого плеча, по месту жительства выполнено ПХО, ушивание раны. В послеоперационном периоде наблюдались симптомы нейропатии локтевого нерва, получал консервативную терапию в течение 12 месяцев, после чего консультированы в КДЦ ДГКБ им Н.Ф. Филатова – рекомендована госпитализация в отделение микрохирургии для оперативного вмешательства. По данным УЗИ определялся неврома проксимальной культы и истончение, и снижение структурности нервного ствола в центре посттравматического рубца (Рис. 66).

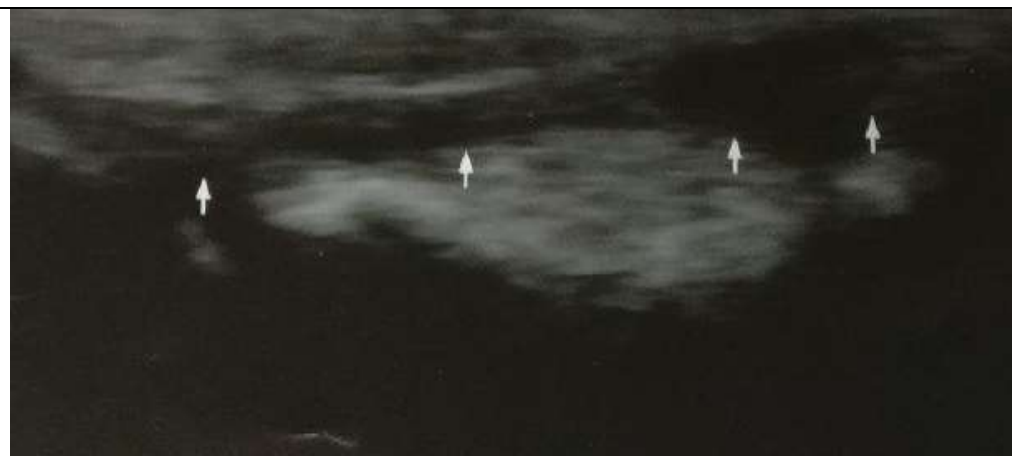


Рис. 69 УЗИ локтевого нерва

По данным игольчатой ЭМГ признаки аксонального перерыва локтевого нерва. Пациенту в плановом порядке выполнено оперативное вмешательство. При ревизии выявлена неврома проксимальной культы (Рис. 67), после ее иссечения и освеживания культей нерва – диастаз между концами составил 7 см. Выполнена аутоневральная пластика локтевого нерва вставками из 4х стволов икроножного нерва (Рис. 68).

В послеоперационном периоде получал реабилитационные мероприятия, описанные выше.



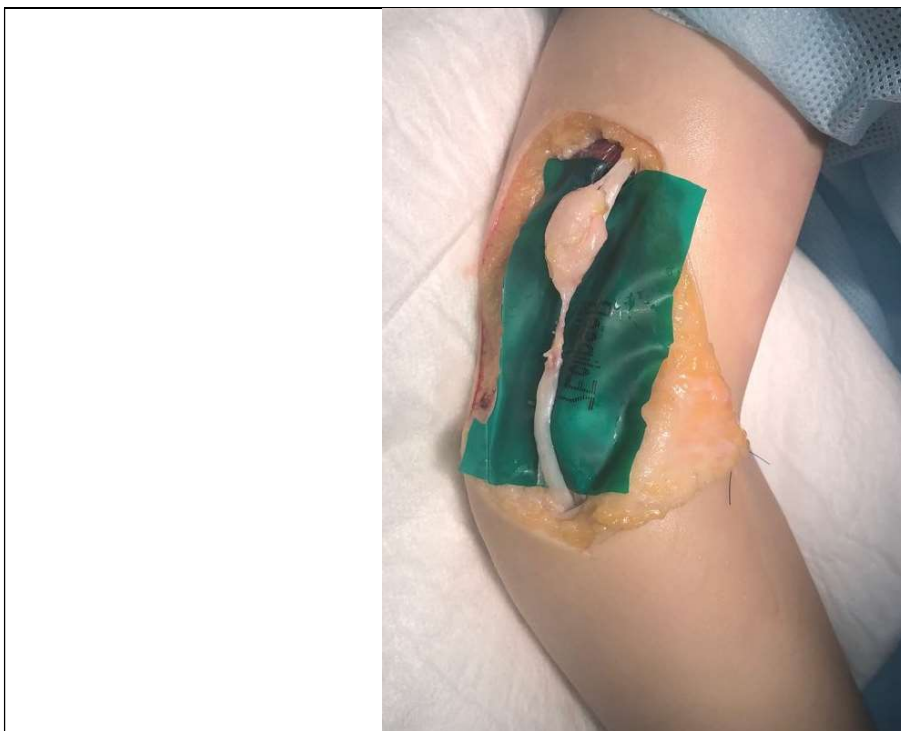


Рис. 70 Неврома проксимальной культи

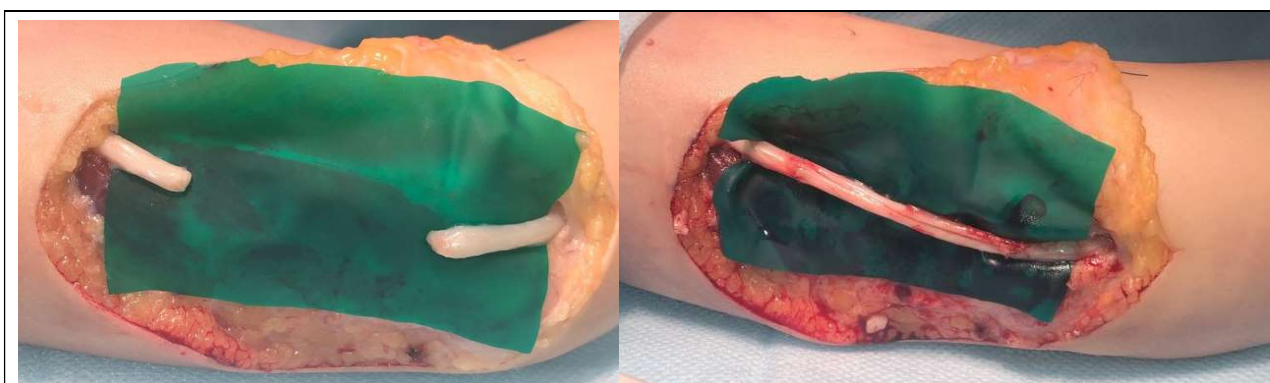


Рис. 71 До и после аутоневральной пластики

Через 11 месяцев достигнуты удовлетворительные результаты S4 M3. После чего через 3,5 месяца достигнуты отличные результаты – S5 M5, Тест Вебера – 4 мм, QuickDASH – 0 баллов.

## Глава 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Посттравматическая нейропатия – это заболевание, которое характеризуется нарушением функции нервов, в следствие их травматизации различными факторами. В результате этого происходит нарушение двигательной и чувствительной иннервации того или иного сегмента. В контексте периферических нервов верхней конечности следует констатировать, что у пациентов, страдает существенная часть “инструмента” взаимодействия с внешним миром.

Несмотря на то, что хирургия периферических нервов является одной из наиболее молодых областей медицины, которая характеризуется быстрым технологическим прогрессом, как в отношении микрохирургической техники, так и в отношении оборудования и инструментов, а также новыми достижениями в фундаментальном понимании патологической анатомии, патологической физиологии и регенерации нервов при их повреждении, особенно благодаря революционным открытиям во второй половине XX века. В то же время в мировой специальной литературе имеется ограниченное количество публикаций на тему повреждений периферических нервов у детей, в то время как у взрослых на эту тему дефицита публикаций не наблюдается. Поэтому повреждения периферических нервов у детей в настоящее время являются актуальной проблемой. Несвоевременное и/или неадекватное оказание специализированной помощи этим детям приводит к серьезным последствиям вплоть до нарушения социализации ребенка и инвалидности, особенно с учетом того, что дети продолжают расти и развиваться.

Всех пациентов с нейропатиями верхней конечности необходимо комплексно обследовать, так как такие методы как клиническое неврологическое обследование, УЗИ периферических нервов, игольчатая ЭМГ, в ряде случаев и рентгенография помогают получить ответы на вопросы о целесообразности выполнения оперативного вмешательства и предоперационного планирования.



Нужно быть настороженными при переломах костей, вывихах, а также при их лечении, т.е. выполнении репозиций и вправлении вывихов. В последнее время в связи с ростом популярности металлоостеосинтеза у детей, особенно малоинвазивных технологий, растет количество ятрогенных повреждений периферических нервов, которые зачастую травматологами трактуются как транзиторные нарушения и их дальнейшим ведением занимаются врачи-реабилитологи и врачи-неврологи. В конечном итоге пациенты, у которых по ходу реабилитационного лечения, не произошло восстановления функции нервов, попадают к профильным специалистам тогда, когда с момента травмы уже прошло 5-6 месяцев. К счастью, благодаря тому что потенциал регенерации нервов у детей высок, мы смогли достичь удовлетворительных результатов даже при позднем обращении. Однако это значительно увеличивает сроки восстановления функции периферического нерва и как следствие длительность реабилитации.

Основными оперативными вмешательствами, которые позволяют восстановить целостность нервного ствола и проводимость электрических импульсов по нему, являются – первичный/вторичный швы нерва, аутоневральная пластика, невролиз.

Учитывая цель исследования – улучшение результатов лечения детей с повреждениями периферических нервов был проведен анализ результатов лечения, а также влияние прогностических факторов на результаты восстановления функции и скорость достижения удовлетворительных результатов. К прогностическим факторам относятся: возраст, уровень повреждения, срок с момента травмы до оперативного лечения, соблюдение реабилитационных мероприятий. А также выполнен анализ результатов лечения в зависимости от оперативного вмешательства – невролиз, первичный/вторичный шов, аутоневральная пластика.

Для изучения влияния такого фактора, как возраст, на результаты лечения, пациенты были разделены на 2 группы до 11 лет и более 11 лет. Исходя из

данных мировой литературы – в возрасте до 11 лет ожидаются лучшие результаты, чем в старшем возрасте. Соответственно сформированы 2 группы – до 11 лет ( $n=54$ ) и более 11 лет ( $n=60$ ). Для оценки результатов лечения пациентов использовались шкала Григоровича (S-чувствительность и М-двигательная функция), субъективная шкала неспособности верхней конечности (QuickDASH) и дискриминационная двухточечная проба (Тест Вебера). При статистическом анализе выявлены статистически значимые результаты при оценке QuickDASH, S (чувствительность) и М (двигательная функция) по шкале Григоровича. Таким образом в группе до 11 лет стоит ожидать лучшее восстановление чувствительности и двигательной функции, а также лучшую субъективную оценку восстановления функции верхней конечности. Для оценки влияния возраста на скорость восстановления функции и конечные результаты лечения был выполнен корреляционный анализ, по результатам которого были выявлены связи – при увеличении возраста – увеличивается время, затраченное на достижение удовлетворительных результатов; - уменьшаются показатели по шкале Григоровича (чем меньше баллов, тем хуже функция) чувствительной и двигательной функции нервов в послеоперационном периоде.

Также известен факт, что чем проксимальнее повреждение, тем худшие результаты следует ожидать, поэтому пациенты были разделены на 4 группы: до карпального канала ( $n=12$ ), от карпального канала до середины предплечья ( $n=53$ ), от середины предплечья до локтевого сгиба ( $n=26$ ) и выше локтевого сгиба ( $n=23$ ). Для оценки результатов лечения пациентов использовались те же параметры. При статистическом анализе результатов лечения различий выявлено не было ( $p>0,05$ ). При этом выявлены статистически значимые различия в группах по показателю время достижения удовлетворительных результатов – чем проксимальнее уровень, тем больше времени потребуется для получения удовлетворительных результатов.

Также выполнен анализ результатов лечения в зависимости от типа оперативного вмешательства – статистически значимых различий выявлено не

было. Однако при оценке показателя время достижения удовлетворительных результатов были выявлены статистические значимые различия – при выполнении первичного шва, время, затраченное на реабилитацию меньше, чем при аутоневральной пластике.

Для оценки влияния времени прошедшего с момента травмы до оперативного вмешательства и времени восстановления функции нерва пациенты были разделены на две группы по классификации в зависимости от времени, через которое было выполнено оперативное вмешательство – ранний (до 3 недель) и поздний (более 3 недель). В группе до 3х недель – 62 пациента, более 3х недель – 52 пациента. Группы не отличались по возрасту и полу. Для оценки результатов лечения были использованы таблицы Григоровича для оценки функции нервов (S и M шкалы), Тест Вебера и шкала quickDASH. При сравнении результатов лечения статистически значимых различий в двух группах обнаружено не было ( $p>0,05$ ). Для более точной оценки влияния сроков от момента травмы до оперативного вмешательства – пациенты были разделены на 4 группы в зависимости от возможностей регенерации нервного волокна (по данным мировой литературы у взрослых) - пациенты второй группы были разделены на 4 группы в зависимости от общепринятых положений хирургии периферических нервов у взрослых – в срок до 3 месяцев можно ожидать удовлетворительные результаты у более 75% пациентов (группа 1), в срок от 3 до 6 месяцев – у 50 % пациентов (группа 2), в срок от 6 до 12 месяцев лишь у 25% (группа 3) и срок более 12 месяцев (группа 4) является показанием к мышечно-сухожильной пластике. Таким образом были выделены 4 группы: группа 1 – 23 пациента, группа 2 – 15 пациентов, группа 3 – 8 пациентов, группа 4 – 7 пациентов. Для оценки результатов лечения пациентов использовались те же параметры. При анализе были выявлены статистически значимые различия. Исходя из полученных данных, удовлетворительный результат был достигнут у всех пациентов. Однако, чем больше срок с момента травмы до оперативного вмешательства, тем хуже результат восстановления функции поврежденного

нерва – снижение двигательной и чувствительной функции. Также был проведен корреляционный анализ взаимосвязи времени прошедшего с момента травмы до оперативного вмешательства и результатов лечения, и времени, которое было затрачено на достижение удовлетворительных результатов. Были выявлены связи, которые свидетельствуют о том, что время с момента травмы до оперативного вмешательства напрямую влияет на результаты лечения и сроки восстановления функции. В нашем исследовании максимальный срок с момента травмы до оперативного лечения и достижение удовлетворительных результатов составил 15 месяцев. Для подтверждения данного срока необходимо выполнение дополнительных исследований в будущем.

Также была выполнена оценка влияния реабилитационных мероприятий на результаты лечения детей с повреждениями периферических нервов. Так были выявлены статистически значимые различия в результатах по показателям QuickDASH и M (двигательная функция) – при наличии реабилитационных мероприятий – результаты лечения оказались лучше, чем у тех пациентов, которые пренебрегли реабилитационными мероприятиями.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что на результаты лечения детей с повреждениями периферических нервов в меньшей степени влияют известные отрицательные прогностические признаки (возраст на момент получения травмы, уровень повреждения и время, прошедшее с момента травмы до оперативного вмешательства) и они значительно отличаются от тех, которые наблюдаются у взрослых. Возможно, это связано с несколькими обстоятельствами: 1. Более высокий регенераторный потенциал у детей. По данным ряда авторов у детей скорость роста аксона составляет до 2-4 мм в сутки, в то время как у взрослых ~ 1 мм. 2. Меньшая длина конечностей, а значит меньшее расстояние, которое необходимо преодолеть аксону при его регенерации. 3. Пластичность центральной нервной системы, особенно сенсомоторной коры головного мозга, которая имеет способность перекодироваться и подстраиваться к новой анатомии, изменившейся в

результате травмы и реконструктивных операций, особенно изменившейся интраневральной топографии. Остается открытым вопрос о возможности стимуляции и улучшении регенерации нервных волокон с помощью различных факторов роста и воздействия физических факторов.

Общемировой опыт включает широкое разнообразие методов лечения пациентов с посттравматическими нейропатиями периферических нервов. Однако, те хирургические методы, которые были использованы в нашей работе, продолжают оставаться надежными «рабочими лошадками».

С учетом полученных данных, был создан протокол обследования и тактики ведения пациентов с симптомами нейропатии верхней конечностей травматического генеза.

При наличии открытого повреждения в проекции нервных стволов необходимо всегда выполнять ревизию для оценки состояния периферического нерва. При наличии повреждения нерва – выполнение первичного эпинеурального шва. Если после первичного оперативного вмешательства - ушивание раны выявлена клиника нейропатии – УЗИ в срочном порядке.

Если клиника нейропатии появилась после закрытых травматических повреждениях -переломах костей верхней конечности, необходимо после снятия гипсового лонгета выполнение комплекса диагностических мероприятий – УЗИ и игольчатая ЭМГ. При наличии нарушения целостности нервного ствола по данным УЗИ – показано оперативное вмешательство в срочном порядке. В случае, когда по данным УЗИ нет повреждения нерва, но есть нарушение проводимости – необходимо соблюдение реабилитационных мероприятий и контрольное комплексное обследование через 3 месяца. Если динамика отсутствует, то необходимо оперативное вмешательство. Все описанное выше справедливо при сроке до 15 месяцев, если давность повреждения превышает 15 – 18 месяцев, то необходимо выполнение мышечно-сухожильных пластик.

С учетом сложности оперативного вмешательства и выбора способа восстановления целостности периферического нерва при застарелых повреждениях, также был предложен специальный алгоритм. Так при отсутствии динамики по данным ЭМГ и УЗИ в течение 3 месяцев необходимо выполнение оперативного вмешательства – если отсутствует видимое повреждение ствола нерва и неврома – выполняется невролиз. В том случае, когда есть повреждение нерва важным аспектом является диастаз между концами нерва после иссечения концевой невромы. Если менее 2-3 см, то возможно выполнение эпинеурального шва, если больше 2-3 см, то необходимо выполнить пластику нерва одним из возможных способов (аутоневральная пластика, нервные кондуиты и т. д.)

Несмотря на очевидный прогресс в лечении детей с повреждениями периферических нервов, достижение идеальных результатов остается невозможным. Не до конца решены вопросы о профилактике, организации квалифицированной помощи детям с данной патологией.

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

## ВЫВОДЫ

1. Основной причиной повреждений крупных нервов верхних конечностей у детей является травматическое воздействие острых предметов, частота возникновения коррелирует с возрастом пациентов и находится в диапазоне от 53,7% до 80%. У пациентов младше 11 лет в 2,2 раза чаще, чем у остальных, причиной повреждения являются переломы костей и ятрогенная травма.
2. Преобладающим способом хирургического восстановления поврежденных нервов является нейрорафия «конец в конец», которую

удается выполнить в первые 3 недели после травмы в 95% случаев. При увеличении давности повреждения до 3 месяцев вероятность успешного выполнения шва нерва составляет 60,8%, давность более 6 месяцев диктует необходимость проведения невролиза и аутоневральной пластики.

3. На эффективность хирургического лечения наибольшее влияние оказывают давность травмы, возраст пациента и уровень повреждения нерва. В среднем каждый дополнительный месяц до начала лечения увеличивает реабилитационный период на 0,3 месяца и снижает двигательную функцию на 4,4%. У пациентов младше 11 лет восстановление чувствительности происходит на 33% эффективнее, чем у детей старше 11 лет. При дистальных формах повреждений процесс реабилитации занимает в 2,4 раза меньше времени, чем при проксимальных.
4. Все пациенты с повреждением крупных нервов верхних конечностей нуждаются в послеоперационном восстановительном лечении. Использование физиотерапевтических процедур, механотерапии, кинезиотерапии, ортезирования и кинезиотейпирования в среднем на 25% сокращают сроки реабилитации и улучшают функциональный результат.
5. Наибольшая эффективность хирургического лечения детей с повреждениями крупных нервов верхних конечностей достижима только при дифференцированном подходе с исключением шаблонных решений. Чёткое соблюдение правил ранней диагностики, рациональное использование критериев выбора объема оперативного вмешательства, интенсивное восстановительное лечение и своевременная оценка результатов в раннем и отдаленном периодах позволяет достигнуть удовлетворительного исхода в 100% случаев.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Необходима комплексная и ранняя диагностика с применением УЗИ, игольчатой ЭМГ, рентгенографии и клинического осмотра при появлении признаков нарушения функции нервов, особенно актуально это при переломах костей верхней конечности,
2. При отсутствии динамики по игольчатой ЭМГ при неповрежденном нервном стволе на УЗИ – оперативное вмешательство,
3. При диастазе между концами поврежденного нерва менее 2-3 см и отсутствии натяжения целесообразно выполнять шов нерва,
4. При диастазе между концами поврежденного нерва 2-3 см и более при этом при попытке сопоставить концы нерва возникает натяжение необходимо выполнять аутоневральную пластику,
5. Детям с давностью травмы как менее, так и более 12 месяцев необходимо выполнять оперативные вмешательства, направленные на восстановление нервного ствола и проводимости нервного импульса по нему с предсказуемыми удовлетворительными результатами,
6. Вне зависимости от уровня повреждений, необходимо выполнять оперативные вмешательства, направленные на восстановление нервного ствола и проводимости нервного импульса по нему с предсказуемыми удовлетворительными результатами;



## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ДДТП – Дискриминационная двухточечная проба (Тест Вебера)

QuickDASH – опросник неспособности верхней конечности

S – Чувствительная функция нерва в шкале Григоровича

M - Двигательная функция нерва в шкале Григоровича

ЭМГ – Электромиография

УЗИ – Ультразвуковое исследование

## Список литературы

1. Арсаханова Г. А. Клинико-инструментальная диагностика повреждений периферических нервов у больных с травмой конечностей / Г. А. Арсаханова // StudNet. – 2020. – Т. 10. – С. 5.
2. Афанасьев Д. С. Лечение больных с закрытыми костно-суставными травмами плеча, осложненными повреждениями нервных стволов / Д. С. Афанасьев. – 2004. – 181 с.
3. Бехтерев А. В. Тактика при повреждении периферических нервов верхней конечности / А. В. Бехтерев, С. А. Ткаченко, В. Д. Машталов // Главный врач Юга России. – 2017. – № 4 (57).
4. Воробьева О. В. Нейропатическая боль в общесоматической практике: пути повышения эффективности терапии / О. В. Воробьева // Поликлиника. – 2018. – Т. 5. – № 1. – С. 44-48.
5. Живолупов С. А. Центральные механизмы терапевтической эффективности нейромидина в лечении травматических поражений периферических нервов / С. А. Живолупов, И. Н. Самарцев // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2010. – Т. 3.
6. Золотов А. С. Хирургическое лечение повреждений сухожилий сгибателей пальцев кисти / А. С. Золотов, В. Н. Зеленин, В. А. Сорокинов. – Иркутск, 2006. – 110 с.
7. Золотов А. С. К вопросу об истории хирургических операций при ранениях периферических нервов / А. С. Золотов, О. И. Пак // Травматология и ортопедия России. – 2013. – Т. 19. – № 3. – С. 162-166.
8. Информативность УЗИ в диагностике интраневральной периневриномы / Д. С. Дружинин, Е. С. Дружинина, М. Л. Новиков [и др.] // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. БУРДЕНКО. – 2020. – Т. 84. – № 5. – С. 72-80.

9. Лечение перелома плеча, осложненного нейропатией локтевого и лучевого нервов / В. Т. Тарчоков, И. А. Мещерягина, А. Н. Дьячков, С. П. Бойчук // Гений Ортопедии. – 2016. – № 1. – С. 85-89.
10. Одинак М. М. Заболевания и травмы периферической нервной системы. Т. СпецЛит / М. М. Одинак, С. А. Живолупов. – Санкт-Петербург : СпецЛит, 2009. – 367 с.
11. Результаты лечения детей с посттравматическими нейропатиями периферических нервов верхней конечности / А.А. Смирнов [и др.]. // Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии. – 2023. – Т. 13. – № 2. – С. 147-160.
12. Результаты хирургического лечения травматических повреждений локтевого, срединного и лучевого нервов у детей: систематический обзор и метаанализ / А.В. Александров, А.А. Смирнов, П.В. Гончарук–// Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. – 2023. – Т. 25. – № 4. – С. 6-14.
13. Современные подходы к регенерации периферических нервов после травмы: перспективы генной и клеточной терапии / М. Н. Карагяур, П. И. Макаревич, Е. К. Шевченко [и др.] // Гены и клетки. – 2017. – Т. 12. – № 1. – С. 6-14.
14. 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.
15. Соловьева Э. Ю. Современные подходы к антиоксидантной терапии диабетической невропатии в клинической практике / Э. Ю. Соловьева, Э. Д. Джутова, Е. А. Тютюмова // Эффективная фармакотерапия. – 2016. – Т. 25. – С. 38-46.
16. Шаров М. Н. Современный опыт применения антихолинэстеразных

препаратов в неврологии / М. Н. Шаров, О. А. Степанченко, З. А. Суслина // Лечащий врач. – 2008. – Т. 5. – С. 91-94.

17. ЭлектронеЙромиография как метод оценки купирования критической ишемии / Г. Е. Шейко, М. Н. Кудыкин, А. Н. Белова [и др.] // Амурский медицинский журнал. – 2018. – Т. 3. – С. 92-93.

18. ЭлектронеЙромиография при повторных операциях у больных с поясничным остеохондрозом / С. С. Саидов, Р. О. Адылова, Р. М. Юлдашев [и др.] // Вестник экстренной медицины. – 2014. – Т. 3. – С. 43-45.

19. Ятрогенные повреждения лучевого нерва при остеосинтезе плечевой кости. Профилактика, диагностика и лечение / Ю. А. Боголюбский, А. М. Файн, А. В. Сачков [и др.] // Журнал им. Н. В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь». – 2020. – Т. 9. – № 1. – С. 51-60.

20. Barton N. J. Joseph Swan (1791-1874): pioneer of research on peripheral nerves / N. J. Barton, B. D. Smith // The Journal of hand surgery, European volume. – 2008. – Vol. 33. – № 3. – P. 252-259.

21. Biology of Muscle Atrophy and of its Recovery by FES in Aging and Mobility Impairments: Roots and By-Products / U. Carraro, H. Kern, P. Gava [et al.] // European journal of translational myology. – 2015. – Vol. 25. – № 4. – P. 221.

22. Biomedical and psychosocial factors associated with disability after peripheral nerve injury / C. B. Novak, D. J. Anastakis, D. E. Beaton [et al.] // The Journal of bone and joint surgery. American volume. – 2011. – Vol. 93. – № 10. – P. 929-936.

23. Biomedical engineering strategies for peripheral nerve repair: surgical applications, state of the art, and future challenges / B. J. Pfister, T. Gordon, J. R. Loverde [et al.] // Critical reviews in biomedical engineering. – 2011. – Vol. 39. – № 2. – P. 81-124.

24. Birthday of peripheral nervous system surgery: the contribution of Gabriele Ferrara (1543-1627) / M. Artico, L. Cervoni, F. Nucci, R. Giuffré // Neurosurgery. –

1996. – Vol. 39. – № 2. – P. 380-383.

25. Blanquie O. Cytoskeleton dynamics in axon regeneration / O. Blanquie, F. Bradke // *Current opinion in neurobiology*. – 2018. – Vol. 51. – P. 60-69.

26. Bolívar S. Schwann Cell Role in Selectivity of Nerve Regeneration / S. Bolívar, X. Navarro, E. Udina // *Cells*. – 2020. – Vol. 9. – № 9.

27. Böttcher R. T. Fibroblast growth factor signaling during early vertebrate development / R. T. Böttcher, C. Niehrs // *Endocrine reviews*. – 2005. – Vol. 26. – № 1. – P. 63-77.

28. Boyd J. G. Neurotrophic factors and their receptors in axonal regeneration and functional recovery after peripheral nerve injury / J. G. Boyd, T. Gordon // *Molecular neurobiology*. – 2003. – Vol. 27. – № 3. – P. 277-323.

29. Bradke F. Assembly of a new growth cone after axotomy: the precursor to axon regeneration / F. Bradke, J. W. Fawcett, M. E. Spira // *Nature reviews. Neuroscience*. – 2012. – Vol. 13. – № 3. – P. 183-193.

30. Brück W. The role of macrophages in Wallerian degeneration / W. Brück // *Brain pathology (Zurich, Switzerland)*. – 1997. – Vol. 7. – № 2. – P. 741-752.

31. Brushart T. M. Alteration in connections between muscle and anterior horn motoneurons after peripheral nerve repair / T. M. Brushart, M. M. Mesulam // *Science (New York, N.Y.)*. – 1980. – Vol. 208. – № 4444. – P. 603-605.

32. Bunge R. P. The role of the Schwann cell in trophic support and regeneration / R. P. Bunge // *Journal of neurology*. – 1994. – Vol. 242. – № 1 Suppl 1.

33. Burnett M. G. Pathophysiology of peripheral nerve injury: a brief review / M. G. Burnett, E. L. Zager // *Neurosurgical focus*. – 2004. – Vol. 16. – № 5.

34. Carlsen B. T. Late reconstruction for brachial plexus injury / B. T. Carlsen, A. T. Bishop, A. Y. Shin // *Neurosurgery clinics of North America*. – 2009. – Vol. 20. – № 1. – P. 51-64.

35. Carr M. J. Schwann cells as drivers of tissue repair and regeneration / M. J. Carr, A. P. Johnston // *Current opinion in neurobiology*. – 2017. – Vol. 47. – P. 52-57.
36. Cavero I. Reminiscing about Jan Evangelista Purkinje: A pioneer of modern experimental physiology / I. Cavero, J. M. Guillon, H. H. Holzgrefe // *Advances in Physiology Education*. – 2017. – Vol. 41. – № 4. – P. 528-538.
37. Changes in the Coding and Non-coding Transcriptome and DNA Methylome that Define the Schwann Cell Repair Phenotype after Nerve Injury / P. J. Arthur-Farraj, C. C. Morgan, M. Adamowicz [et al.] // *Cell reports*. – 2017. – Vol. 20. – № 11. – P. 2719-2734.
38. Characterising cellular and molecular features of human peripheral nerve degeneration / M. B. Wilcox, S. G. Laranjeira, T. M. Eriksson [et al.] // *Acta neuropathologica communications*. – 2020. – Vol. 8. – № 1.
39. Chemnitz A. Consequences and adaptation in daily life - patients' experiences three decades after a nerve injury sustained in adolescence / A. Chemnitz, L. B. Dahlin, I. K. Carlsson // *BMC musculoskeletal disorders*. – 2013. – Vol. 14.
40. Chen B. Promotion of nerve regeneration in peripheral nerve by short-course FK506 after end-to-side neurorrhaphy / B. Chen, Y. Song, Z. Liu // *The Journal of surgical research*. – 2009. – Vol. 152. – № 2. – P. 303-310.
41. Chernousov M. A. Schwann cell extracellular matrix molecules and their receptors / M. A. Chernousov, D. J. Carey // *Histology and histopathology*. – 2000. – Vol. 15. – № 2. – P. 593-601.
42. Chiu DT I. C. Management of peripheral nerve injuries / I. C. Chiu DT // *Orthop Clin North Am*. – 1986. – P. 365-373.
43. Chvátal A. Discovering the structure of nerve tissue: part 1: from Marcello Malpighi to Christian Berres / A. Chvátal // *Journal of the history of the neurosciences*. – 2015. – Vol. 24. – № 3. – P. 268-291.

44. Chvátal A. Discovering the Structure of Nerve Tissue: Part 2: Gabriel Valentin, Robert Remak, and Jan Evangelista Purkyně / A. Chvátal // Journal of the history of the neurosciences. – 2015. – Vol. 24. – № 4. – P. 326-351.
45. Chvátal A. Discovering the structure of nerve tissue: Part 3: From Jan Evangelista Purkyně to Ludwig Mauthner / A. Chvátal // Journal of the History of the Neurosciences. – 2017. – Vol. 26. – № 1. – P. 15-49.
46. Chvátal A. Jan Evangelista Purkyně (1787–1869) and his instruments for microscopic research in the field of neuroscience / A. Chvátal // Journal of the History of the Neurosciences. – 2017. – Vol. 26. – № 3. – P. 238-256.
47. Clinical and Radiological Follow-up of Intraneural Perineuriomas / T. J. Wilson, K. K. Amrami, B. M. Howe, R. J. Spinner // Neurosurgery. – 2019. – Vol. 85. – № 6. – P. 786-791.
48. Current Status of Therapeutic Approaches against Peripheral Nerve Injuries: A Detailed Story from Injury to Recovery / G. Hussain, J. Wang, A. Rasul [et al.] // International journal of biological sciences. – 2020. – Vol. 16. – № 1. – P. 116-134.
49. D'Alessio S. The urokinase receptor as an entertainer of signal transduction / S. D'Alessio, F. Blasi // Frontiers in bioscience (Landmark edition). – 2009. – Vol. 14. – № 12. – P. 4575-4587.
50. Diagnostic value of electromyography in children and adolescents / M. Hellmann, J. C. Von Kleist-Retzow, W. F. Haupt [et al.] // Journal of clinical neurophysiology : official publication of the American Electroencephalographic Society. – 2005. – Vol. 22. – № 1. – P. 43-48.
51. Differential macrophage responses in the peripheral and central nervous system during wallerian degeneration of axons / A. M. Avellino, D. Hart, A. T. Dailey [et al.] // Experimental neurology. – 1995. – Vol. 136. – № 2. – P. 183-198.
52. Digital nerve injuries: epidemiology, results, costs, and impact on daily life / F. Thorsén, H. E. Rosberg, K. Steen Carlsson, L. B. Dahlin // Journal of plastic surgery

and hand surgery. – 2012. – Vol. 46. – № 3-4. – P. 184-190.

53. Dijkers M. P. J. M. Quality of life of individuals with spinal cord injury: a review of conceptualization, measurement, and research findings / M. P. J. M. Dijkers // Journal of rehabilitation research and development. – 2005. – Vol. 42. – № 3 Suppl 1. – P. 87-110.

54. Edstrom L. E. Chronic nerve injuries and treatment of neuromas. / L. E. Edstrom // Hand Surgery. – 2003. – Vol. 2. – P. 847-866.

55. Effect of Tacrolimus and Cyclosporine Immunosuppressants on Peripheral Nerve Regeneration: Systematic Review and Meta-analysis / S. F. Seixas, G. C. Forte, G. A. Magnus [et al.] // Revista Brasileira de Ortopedia. – 2022. – Vol. 57. – № 2. – P. 207.

56. Effect of upper extremity nerve damage on activity participation, pain, depression, and quality of life / R. Bailey, V. Kaskutas, I. Fox [et al.] // The Journal of hand surgery. – 2009. – Vol. 34. – № 9. – P. 1682-1688.

57. Effects of topically administered FK506 on sciatic nerve regeneration and reinnervation after vein graft repair of short nerve gaps / S. Azizi, R. Mohammadi, K. Amini, R. Fallah // Neurosurgical focus. – 2012. – Vol. 32. – № 5.

58. Electrical stimulation promotes motoneuron regeneration without increasing its speed or conditioning the neuron / T. M. Brushart, P. N. Hoffman, R. M. Royall [et al.] // The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience. – 2002. – Vol. 22. – № 15. – P. 6631-6638.

59. Epidemiology of upper extremity peripheral nerve injury in South Korea, 2008 to 2018 / S. J. Kim, Y. M. Kwon, S. M. Ahn [et al.] // Medicine. – 2022. – Vol. 101. – № 48. – P. E31655.

60. Erratum to: an update on addressing important peripheral nerve problems: challenges and potential solutions / W. Z. Ray, M. A. Mahan, D. Guo [et al.] // Acta neurochirurgica. – 2017. – Vol. 159. – № 9. – P. 1775.



61. Etiological factors of traumatic peripheral nerve injuries / F. Eser, L. Aktekin, H. Bodur [et al.] // *Neurology India*. – 2009. – Vol. 57. – № 4. – P. 434-437.
62. Evidence-Based Approach to Timing of Nerve Surgery: A Review / B. J. MacKay, C. T. Cox, I. L. Valerio [et al.] // *Annals of plastic surgery*. – 2021. – Vol. 87. – № 3. – P. e1-e21.
63. FK506 increases peripheral nerve regeneration after chronic axotomy but not after chronic Schwann cell denervation / O. A. R. Sulaiman, J. Voda, B. G. Gold, T. Gordon // *Experimental Neurology*. – 2002. – Vol. 175. – № 1. – P. 127-137.
64. Friedman A. H. An eclectic review of the history of peripheral nerve surgery / A. H. Friedman // *Neurosurgery*. – 2009. – Vol. 65. – № 4 Suppl.
65. Fu S. Y. Contributing factors to poor functional recovery after delayed nerve repair: prolonged denervation / S. Y. Fu, T. Gordon // *Journal of Neuroscience*. – 1995. – Vol. 15. – № 5. – P. 3886-3895.
66. Fu S. Y. The cellular and molecular basis of peripheral nerve regeneration / S. Y. Fu, T. Gordon // *Molecular neurobiology*. – 1997. – Vol. 14. – № 1-2. – P. 67-116.
67. Gaudet A. D. Wallerian degeneration: gaining perspective on inflammatory events after peripheral nerve injury / A. D. Gaudet, P. G. Popovich, M. S. Ramer // *Journal of neuroinflammation*. – 2011. – Vol. 8.
68. Geldanamycin accelerated peripheral nerve regeneration in comparison to FK-506 in vivo / H. H. Sun, M. Saheb-Al-Zamani, Y. Yan [et al.] // *Neuroscience*. – 2012. – Vol. 223. – P. 114-123.
69. Gillespie M. J. Motor units and histochemistry in rat lateral gastrocnemius and soleus muscles: evidence for dissociation of physiological and histochemical properties after reinnervation / M. J. Gillespie, T. Gordon, P. R. Murphy // *Journal of neurophysiology*. – 1987. – Vol. 57. – № 4. – P. 921-937.
70. Gillespie M. J. Reinnervation of the lateral gastrocnemius and soleus muscles in the rat by their common nerve / M. J. Gillespie, T. Gordon, P. R. Murphy // *The*

Journal of physiology. – 1986. – Vol. 372. – № 1. – P. 485-500.

71. Gordon T. Nerve Regeneration: Understanding Biology and Its Influence on Return of Function After Nerve Transfers / T. Gordon // Hand clinics. – 2016. – Vol. 32. – № 2. – P. 103-117.

72. Gordon T. Peripheral Nerve Regeneration and Muscle Reinnervation / T. Gordon // International Journal of Molecular Sciences. – 2020. – Vol. 21. – № 22. – P. 1-24.

73. Gordon T. The role of neurotrophic factors in nerve regeneration / T. Gordon // Neurosurgical focus. – 2009. – Vol. 26. – № 2. – P. 1-10.

74. Gordon T. The use of the rat as a model for studying peripheral nerve regeneration and sprouting after complete and partial nerve injuries / T. Gordon, G. H. Borschel // Experimental neurology. – 2017. – Vol. 287. – № Pt 3. – P. 331-347.

75. Gordon T. Strategies to Promote peripheral nerve regeneration: electrical stimulation and/or exercise / T. Gordon, A. W. English // The European journal of neuroscience. – 2016. – Vol. 43. – № 3. – P. 336-350.

76. Gordon T. Strategies to promote peripheral nerve regeneration: Electrical stimulation and/or exercise / T. Gordon, A. W. English. – Text : electronic // European Journal of Neuroscience. – 2016. – Vol. 43. – № 3. – P. 336-350. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26121368/> (date accessed: 06.02.2021).

77. Gordon T. Sprouting capacity of lumbar motoneurons in normal and hemisected spinal cords of the rat / T. Gordon, N. Tyreman // The Journal of physiology. – 2010. – Vol. 588. – № Pt 15. – P. 2745-2768.

78. Gordon T. The basis for diminished functional recovery after delayed peripheral nerve repair / T. Gordon, N. Tyreman, M. A. Raji // The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience. – 2011. – Vol. 31. – № 14. – P. 5325-5334.

79. Gordon T. Motor unit and muscle fiber type grouping after peripheral nerve

- injury in the rat / T. Gordon, J. E. T. de Zepetnek // *Experimental neurology*. – 2016. – Vol. 285. – № Pt A. – P. 24-40.
80. Griffin J. W. Biology and pathology of nonmyelinating Schwann cells / J. W. Griffin, W. J. Thompson // *Glia*. – 2008. – Vol. 56. – № 14. – P. 1518-1531.
81. Health-related quality of life and functional outcomes following nerve transfers for traumatic upper brachial plexus injuries / R. T. Dolan, J. S. Butler, S. M. Murphy [et al.] // *The Journal of hand surgery, European volume*. – 2012. – Vol. 37. – № 7. – P. 642-651.
82. Healthcare costs and productivity costs of hand and wrist injuries by external cause: A population-based study in working-age adults in the period 2008-2012 / C. E. De Putter, E. F. Van Beeck, S. Polinder [et al.] // *Injury*. – 2016. – Vol. 47. – № 7. – P. 1478-1482.
83. Heterologous fibrin sealant potentiates axonal regeneration after peripheral nerve injury with reduction in the number of suture points / A. P. S. Leite, C. G. Pinto, F. C. Tibúrcio [et al.] // *Injury*. – 2019. – Vol. 50. – № 4. – P. 834-847.
84. Hoffman P. N. Axonal transport of the cytoskeleton in regenerating motor neurons: constancy and change / P. N. Hoffman, R. J. Lasek // *Brain research*. – 1980. – Vol. 202. – № 2. – P. 317-333.
85. Hosalkar H. S. Nerve palsies related to pediatric upper extremity fractures / H. S. Hosalkar, J. L. Matzon, B. Chang // *Hand clinics*. – 2006. – Vol. 22. – № 1. – P. 87-98.
86. IJpma F. F. A. Pioneers in nerve tubulation / F. F. A. IJpma, R. C. Van De Graaf, M. F. Meek // *Techniques in hand & upper extremity surgery*. – 2009. – Vol. 13. – № 2. – P. 116-117.
87. IJPMA F. F. A. The early history of tubulation in nerve Repair / F. F. A. IJPMA, R. C. Van DE Graaf, M. F. Meek // *The Journal of hand surgery, European volume*. – 2008. – Vol. 33. – № 5. – P. 581-586.

88. Incidence of Nerve Injury After Extremity Trauma in the United States / W. M. Padovano, J. Dengler, M. M. Patterson [et al.] // *Hand* (New York, N.Y.). – 2022. – Vol. 17. – № 4. – P. 615-623.
89. Incidence of traumatic peripheral nerve injuries and amputations in Sweden between 1998 and 2006 / M. Asplund, M. Nilsson, A. Jacobsson, H. Von Holst // *Neuroepidemiology*. – 2009. – Vol. 32. – № 3. – P. 217-228.
90. Increased expression of BDNF and trkB mRNA in rat facial motoneurons after axotomy / K. NR, B. AM, H. MT, T. W // *The European journal of neuroscience*. – 1996. – Vol. 8. – № 5. – P. 1018-1029.
91. Jahromi M. The advances in nerve tissue engineering: From fabrication of nerve conduit to in vivo nerve regeneration assays / M. Jahromi, S. Razavi, A. Bakhtiari // *Journal of tissue engineering and regenerative medicine*. – 2019. – Vol. 13. – № 11. – P. 2077-2100.
92. Jessen K. R. The repair Schwann cell and its function in regenerating nerves / K. R. Jessen, R. Mirsky // *The Journal of physiology*. – 2016. – Vol. 594. – № 13. – P. 3521-3531.
93. Jessen K. R. The Success and Failure of the Schwann Cell Response to Nerve Injury / K. R. Jessen, R. Mirsky // *Frontiers in cellular neuroscience*. – 2019. – Vol. 13. – P. 1-14.
94. Kang H. Terminal Schwann cells guide the reinnervation of muscle after nerve injury / H. Kang, L. Tian, W. Thompson // *Journal of neurocytology*. – 2003. – Vol. 32. – № 5-8. – P. 975-985.
95. Kehoe S. FDA approved guidance conduits and wraps for peripheral nerve injury: a review of materials and efficacy / S. Kehoe, X. F. Zhang, D. Boyd // *Injury*. – 2012. – Vol. 43. – № 5. – P. 553-572.
96. Komur M. C. O. K. M. Consistency between referral diagnosis and post-ENMG diagnosis in children / M. C. O. K. M. Komur // *JPMA. The Journal of the*

Pakistan Medical Association. – 2014. – Vol. 64. – № 2. – P. 179-183.

97. Kouyoumdjian J. A. Peripheral nerve injuries: A retrospective survey of 1124 cases / J. A. Kouyoumdjian, C. R. Graça, V. F. M. Ferreira // *Neurology India*. – 2017. – Vol. 65. – № 3. – P. 551-555.

98. Lee S. K. Peripheral nerve injury and repair / S. K. Lee, S. W. Wolfe // *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. – 2000. – Vol. 8. – № 4. – P. 243-252.

99. Lieberman A. R. The axon reaction: a review of the principal features of perikaryal responses to axon injury / A. R. Lieberman // *International review of neurobiology*. – 1971. – Vol. 14. – № C. – P. 49-124.

100. Live Imaging of Calcium Dynamics during Axon Degeneration Reveals Two Functionally Distinct Phases of Calcium Influx / M. E. Vargas, Y. Yamagishi, M. Tessier-Lavigne, A. Sagasti // *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*. – 2015. – Vol. 35. – № 45. – P. 15026-15038.

101. Long-Term Outcomes following Pediatric Peripheral Nerve Injury Repair / B. Langridge, M. F. Griffin, M. A. Akhavan, P. E. Butler // *Journal of hand and microsurgery*. – 2020. – Vol. 12. – № 1. – P. 27-31.

102. Lundborg G. Hand function after nerve repair / G. Lundborg, B. Rosén // *Acta physiologica (Oxford, England)*. – 2007. – Vol. 189. – № 2. – P. 207-217.

103. Mackenzie S. J. Cauda equina repair in the rat: part 2. Time course of ventral root conduction failure / S. J. Mackenzie, I. Smirnov, B. Calancie // *Journal of neurotrauma*. – 2012. – Vol. 29. – № 8. – P. 1683-1690.

104. Mechanisms of acute axonal degeneration in the optic nerve in vivo / J. Knöferle, J. C. Koch, T. Ostendorf [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2010. – Vol. 107. – № 13. – P. 6064-6069.

105. Mesenchymal Stem Cell Treatment Perspectives in Peripheral Nerve

Regeneration: Systematic Review / A. Lavorato, S. Raimondo, M. Boido [et al.] // International journal of molecular sciences. – 2021. – Vol. 22. – № 2. – P. 1-22.

106. Miledi R. On the degeneration of rat neuromuscular junctions after nerve section / R. Miledi, C. R. Slater // The Journal of physiology. – 1970. – Vol. 207. – № 2. – P. 507-528.

107. Millesi H. Further experience with interfascicular grafting of the median, ulnar, and radial nerves / H. Millesi // J Bone Joint Surg Am. – 1976. – Vol. 58. – № 2. – P. 209-218.

108. Millesi H. How to Improve the Results of Peripheral Nerve Surgery / H. Millesi, R. Schmidhammer // Acta Neurochirurgica Supplementum. – Vienna : Springer Vienna, 2007. – Vol. 100.

109. Milner Brown H. S. Contractile and electrical properties of human motor units in neuropathies and motor neurone disease / H. S. Milner Brown, R. B. Stein, R. G. Lee // Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry. – 1974. – Vol. 37. – № 6. – P. 670-676.

110. Misdirection and guidance of regenerating axons after experimental nerve injury and repair / G. C. W. De Ruiter, R. J. Spinner, J. Verhaagen, M. J. A. Maless // Journal of neurosurgery. – 2014. – Vol. 120. – № 2. – P. 493-501.

111. Missios S. Traumatic peripheral nerve injuries in children: epidemiology and socioeconomics. / S. Missios, K. Bekelis, R. J. Spinner // Journal of neurosurgery. Pediatrics. – 2014. – Vol. 14. – № 6. – P. 688-694.

112. Motor-unit categorization based on contractile and histochemical properties: a glycogen depletion analysis of normal and reinnervated rat tibialis anterior muscle / J. E. T. De Zepetnek, H. V. Zung, S. Erdebil, T. Gordon // Journal of neurophysiology. – 1992. – Vol. 67. – № 5. – P. 1404-1415.

113. Motor unit numbers and contractile properties after spinal cord injury / J. F. Yang, R. B. Stein, J. Jhamandas, T. Gordon // Annals of neurology. – 1990. –

Vol. 28. – № 4. – P. 496-502.

114. Namgung U. The role of Schwann cell-axon interaction in peripheral nerve regeneration / U. Namgung // Cells, tissues, organs. – 2014. – Vol. 200. – № 1. – P. 6-12.

115. Nerve injury in severe trauma with upper extremity involvement: evaluation of 49,382 patients from the TraumaRegister DGU® between 2002 and 2015 / T. Huckhagel, J. Nüchtern, J. Regelsberger, R. Lefering // Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine. – 2018. – Vol. 26. – № 1. – P. 76.

116. Nofsinger C. C. Common pediatric hand fractures / C. C. Nofsinger, S. W. Wolfe // Current opinion in pediatrics. – 2002. – Vol. 14. – № 1. – P. 42-45.

117. Papanicolas I. Health Care Spending in the United States and Other High-Income Countries / I. Papanicolas, L. R. Woskie, A. K. Jha // JAMA. – 2018. – Vol. 319. – № 10. – P. 1024-1039.

118. Patterns of reinnervation and motor unit recruitment in human hand muscles after complete ulnar and median nerve section and resuture / C. K. Thomas, R. B. Stein, T. Gordon [et al.] // Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry. – 1987. – Vol. 50. – № 3. – P. 259-268.

119. Pellegatta M. The Complex Work of Proteases and Secretases in Wallerian Degeneration: Beyond Neuregulin-1 / M. Pellegatta, C. Taveggia // Frontiers in cellular neuroscience. – 2019. – Vol. 13.

120. Peripheral nerve injuries: A retrospective survey of 1124 cases / J. A. Kouyoumdjian, C. R. Graça, V. F. M. Ferreira [et al.]. – Text : electronic // Neurology India. – 2017. – Vol. 65. – № 3. – P. 551-555. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28488619/> (date accessed: 14.07.2021).

121. Peripheral pathways regulate motoneuron collateral dynamics / R. Redett, R. Jari, T. Crawford [et al.] // The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience. – 2005. – Vol. 25. – № 41. – P. 9406-9412.

122. Platelet-rich Plasma and Mesenchymal Stem Cells Local Infiltration Promote Functional Recovery and Histological Repair of Experimentally Transected Sciatic Nerves in Rats / N. Kokkalas, P. Kokotis, K. Diamantopoulou [et al.] // *Cureus*. – 2020. – Vol. 12. – № 5.
123. Platelet rich plasma can release nutrient factors to promote facial nerve crush injury recovery in rats / L. Li, J. Cai, Y. Yuan [et al.] // *Saudi medical journal*. – 2019. – Vol. 40. – № 12. – P. 1209-1217.
124. Platelet Rich Plasma Combined with Low-Dose Ultrashort Wave Therapy Accelerates Peripheral Nerve Regeneration / Y. Zhu, Z. Jin, J. Fang [et al.] // *Tissue engineering. Part A*. – 2020. – Vol. 26. – № 3-4. – P. 178-192.
125. Preferential Enhancement of Sensory and Motor Axon Regeneration by Combining Extracellular Matrix Components with Neurotrophic Factors / D. Santos, F. González-Pérez, G. Giudetti [et al.] // *International journal of molecular sciences*. – 2016. – Vol. 18. – № 1.
126. Preliminary evaluation of the sural nerve using 22-MHz ultrasound: a new approach for evaluation of diabetic cutaneous neuropathy / F. Liu, J. Zhu, M. Wei [et al.] // *PloS one*. – 2012. – Vol. 7. – № 4.
127. Radial Nerve Palsy: Nerve Transfer Versus Tendon Transfer to Restore Function / J. M. M. Patterson, S. A. Russo, M. El-Haj [et al.] // *Hand (New York, N.Y.)*. – 2022. – Vol. 17. – № 6. – P. 1082-1089.
128. Rafuse V. F. Self-reinnervated cat medial gastrocnemius muscles. I. comparisons of the capacity for regenerating nerves to form enlarged motor units after extensive peripheral nerve injuries / V. F. Rafuse, T. Gordon // *Journal of neurophysiology*. – 1996. – Vol. 75. – № 1. – P. 268-281.
129. Rafuse V. F. Proportional enlargement of motor units after partial denervation of cat triceps surae muscles / V. F. Rafuse, T. Gordon, R. Orozco // *Journal of neurophysiology*. – 1992. – Vol. 68. – № 4. – P. 1261-1276.



130. Rapid induction of the major embryonic alpha-tubulin mRNA, T alpha 1, during nerve regeneration in adult rats / F. D. Miller, W. Tetzlaff, M. A. Bisby [et al.] // The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience. – 1989. – Vol. 9. – № 4. – P. 1452-1463.
131. Relationships among pain disability, pain intensity, illness intrusiveness, and upper extremity disability in patients with traumatic peripheral nerve injury / C. B. Novak, D. J. Anastakis, D. E. Beaton [et al.] // The Journal of hand surgery. – 2010. – Vol. 35. – № 10. – P. 1633-1639.
132. Repair strategies for injured peripheral nerve: Review / C. Raza, H. A. Riaz, R. Anjum, N. ul A. Shakeel // Life sciences. – 2020. – Vol. 243.
133. Schwann cell basal lamina and nerve regeneration / C. Ide, K. Tohyama, R. Yokota [et al.] // Brain research. – 1983. – Vol. 288. – № 1-2. – P. 61-75.
134. Schwann cell phenotype is regulated by axon modality and central-peripheral location, and persists in vitro / T. M. Brushart, M. Aspalter, J. W. Griffin [et al.] // Experimental neurology. – 2013. – Vol. 247. – P. 272-281.
135. Schwann cells express motor and sensory phenotypes that regulate axon regeneration / A. Höke, R. Redett, H. Hameed [et al.] // The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience. – 2006. – Vol. 26. – № 38. – P. 9646-9655.
136. Secondary repair of ulnar nerve injury. 44 cases followed for 2 years / C. Barrios, S. Amillo, J. de Pablos [et al.] // Acta orthopaedica Scandinavica. – 1990. – Vol. 61. – № 1. – P. 46-49.
137. Seddon H. J. Peripheral Nerve Injuries / H. J. Seddon // Glasgow Medical Journal. – 1943. – Vol. 139. – № 3. – P. 61.
138. Semaphorin 3A-vascular endothelial growth factor-165 balance mediates migration and apoptosis of neural progenitor cells by the recruitment of shared receptor / D. Bagnard, C. Vaillant, S. T. Khuth [et al.] // The Journal of neuroscience :

the official journal of the Society for Neuroscience. – 2001. – Vol. 21. – № 10. – P. 3332-3341.

139. Shahraki M. Influence of Tacrolimus (FK506) on Nerve Regeneration Using Allografts: A Rat Sciatic Nerve Model / M. Shahraki, R. Mohammadi, A. Najafpour // Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons. – 2015. – Vol. 73. – № 7. – P. 1438.e1-1438.e9.

140. Siconolfi L. B. Induction of the plasminogen activator system accompanies peripheral nerve regeneration after sciatic nerve crush / L. B. Siconolfi, N. W. Seeds // The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience. – 2001. – Vol. 21. – № 12. – P. 4336-4347.

141. Siemionow M. Peripheral Nerve Injuries / M. Siemionow, E. Sonmez. – Text : electronic // Plastic and Reconstructive Surgery. – 2010. – P. 523-538. – URL: [http://link.springer.com/10.1007/978-1-84882-513-0\\_37](http://link.springer.com/10.1007/978-1-84882-513-0_37) (date accessed: 21.05.2023).

142. Son Y. J. Nerve sprouting in muscle is induced and guided by processes extended by Schwann cells / Y. J. Son, W. J. Thompson // Neuron. – 1995. – Vol. 14. – № 1. – P. 133-141.

143. Son Y. J. Schwann cells induce and guide sprouting and reinnervation of neuromuscular junctions / Y. J. Son, J. T. Trachtenberg, W. J. Thompson // Trends in neurosciences. – 1996. – Vol. 19. – № 7. – P. 280-285.

144. Sunderland S. A classification of peripheral nerve injuries producing loss of function / S. Sunderland // Brain : a journal of neurology. – 1951. – Vol. 74. – № 4. – P. 491-516.

145. Swan J. A dissertation on the treatment of morbid local affections of nerves / J. Swan. – 1820. – 0-228 p.

146. Tacrolimus reduces scar formation and promotes sciatic nerve regeneration / J. Que, Q. Cao, T. Sui [et al.] // Neural regeneration research. – 2012. – Vol. 7. – № 32.

– P. 2500-2506.

147. Tam S. L. Neuromuscular activity impairs axonal sprouting in partially denervated muscles by inhibiting bridge formation of perisynaptic Schwann cells / S. L. Tam, T. Gordon // *Journal of neurobiology*. – 2003. – Vol. 57. – № 2. – P. 221-234.
148. Temporal changes in macrophage phenotype after peripheral nerve injury / J. E. Tomlinson, E. Žygelyte, J. K. Grenier [et al.] // *Journal of neuroinflammation*. – 2018. – Vol. 15. – № 1.
149. Terminal Schwann cells participate in neuromuscular synapse remodeling during reinnervation following nerve injury / H. Kang, L. Tian, M. Mikesch [et al.] // *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*. – 2014. – Vol. 34. – № 18. – P. 6323-6333.
150. Tetzlaff W. Changes in cytoskeletal proteins in the rat facial nucleus following axotomy / W. Tetzlaff, M. A. Bisby, G. W. Kreutzberg // *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*. – 1988. – Vol. 8. – № 9. – P. 3181-3189.
151. The construct validity and internal consistency of QuickDASH in pediatric patients with upper extremity fractures / N. Kämppä, S. Hulkkonen, P. Grahn [et al.]. – Text : electronic // *Acta orthopaedica*. – 2024. – Vol. 95. – P. 192-199. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38686529/> (date accessed: 24.07.2024).
152. The Epidemiology of Upper Extremity Nerve Injuries and Associated Cost in the US Emergency Departments / M. Tapp, E. Wenzinger, S. Tarabishy [et al.] // *Annals of plastic surgery*. – 2019. – Vol. 83. – № 6. – P. 676-680.
153. The impact of motor axon misdirection and attrition on behavioral deficit following experimental nerve injuries / J. D. D. V. Alant, F. Senjaya, A. Ivanovic [et al.] // *PloS one*. – 2013. – Vol. 8. – № 11.
154. Translating regeneration: Local protein synthesis in the neuronal injury

response / S. Koley, M. Rozenbaum, M. Fainzilber, M. Terenzio // Neuroscience research. – 2019. – Vol. 139. – P. 26-36.

155. Treatment of Chronic Venous Ulcers With Heterologous Fibrin Sealant: A Phase I/II Clinical Trial / L. Abbade, S. Barraviera, M. Silveiras [et al.] // Frontiers in immunology. – 2021. – Vol. 12.

156. Trends in incidence and costs of injuries to the shoulder, arm and wrist in The Netherlands between 1986 and 2008 / S. Polinder, G. I. Iordens, M. J. Panneman [et al.] // BMC public health. – 2013. – Vol. 13. – № 1.

157. Ultrasonography for the diagnosis of carpal tunnel syndrome: correlation of clinical symptoms, cross-sectional areas and electroneuromyography / M. Ratasvuori, M. Sormaala, A. Kinnunen, N. Lindfors // Journal of Hand Surgery (European Volume). – 2021. – Vol. 47. – № 4. – P. 369-374.

158. Ultrasound and EMG-NCV study (electromyography and nerve conduction velocity) correlation in diagnosis of nerve pathologies / S. Domkundwar, G. Autkar, S. V. Khadilkar, M. Virarkar. – 2017. – Vol. 20. – № 2. – P. 111-122.

159. Valencia J. Pediatric hand trauma / J. Valencia, F. Leyva, G. J. Gomez-Bajo // Clinical orthopaedics and related research. – 2005. – Vol. 432. – № 432. – P. 77-86.

160. Vijayavenkataraman S. Nerve guide conduits for peripheral nerve injury repair: A review on design, materials and fabrication methods / S. Vijayavenkataraman // Acta biomaterialia. – 2020. – Vol. 106. – P. 54-69.

161. Vožeh F. Jan Evangelista Purkyně and the cerebellum then and now / F. Vožeh // Physiological Research. – 2015. – Vol. 64. – P. S567-S584.

162. Witzel C. Pathway sampling by regenerating peripheral axons / C. Witzel, C. Rohde, T. M. Brushart // The Journal of comparative neurology. – 2005. – Vol. 485. – № 3. – P. 183-190.

163. Žárský V. Jan Evangelista Purkyně/Purkinje (1787-1869) and the establishment of cellular physiology--Wrocław/Breslau as a central European cradle

for a new science / V. Žárský // Protoplasma. – 2012. – Vol. 249. – № 4. – P. 1173-1179.