ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И.И. МЕЧНИКОВА"
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

Малецкий Эдуард Юрьевич

ВОЗМОЖНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ТУННЕЛЬНЫХ НЕВРОПАТИЙ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ

14.01.13 – лучевая диагностика, лучевая терапия

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
доктор медицинских наук
Ицкович Ирина Эммануиловна

Научный консультант:
доктор медицинских наук, профессор
Лобзин Сергей Владимирович

Санкт – Петербург

2017

ВВЕДЕНИЕ 4

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЛУЧЕВОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ТУННЕЛЬНЫМИ НЕВРОПАТИЯМИ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ) 15

1.1. Особенности стратегии ведения пациентов с туннельными невропатиями верхней конечности 15

1.1.1. Консервативное лечение 19

1.1.2. Хирургическое лечение 20

1.1.3. Патофизиологические особенности регенерации периферических нервов и их влияние на тактику лечения пациентов с ТН. 23

1.2. Методы диагностики туннельных невропатий верхней конечности 24

1.2.1. Клиническое исследование 24

1.2.2. Электрофизиологическое исследование 25

1.2.3. Общие ограничения клинико-электрофизиологического исследования. Необходимость применения методов лучевой визуализации. 28

1.2.4. Рентгенография, компьютерная томография 36

1.2.5. Магнитно-резонансная томография 37

1.2.6. Ультразвуковое исследование 43

ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛА И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ 58

2.1. Общая характеристика обследованных больных 58

2.1.1. Оценка возможностей эхографии при исследовании периферических нервов 58

2.1.2. Ультразвуковая оценка изменения поперечных размеров нервов верхней конечности при ТН 60

2.2. Ультразвуковое исследование 63

2.3. Электронейромиография 73

2.4. Магнитно-резонансная томография 75

2.5. Методы статистической обработки полученных данных 77

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭХОГРАФИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ НЕРВОВ (результаты собственных исследований) 79

ГЛАВА 4. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ НЕРВОВ ПРИ ТУННЕЛЬНЫХ НЕВРОПАТИЯХ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ (результаты собственных исследований) 83

ГЛАВА 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... 104
5.1. Обсуждение полученных результатов 104
5.1.1. Оценка точности УЗ-измерений периферических нервов in vivo..... 105
5.1.2. Оценка особенностей изменения поперечных размеров нервного ствола при туннельных невропатиях верхней конечности. 107
5.1.3. Оптимизация методики измерения ППС нерва при карпальном и кубитальном туннельных синдромах..... 114
5.1.4. Выявление критериев диагностики ТН верхней конечности..... 119
5.1.5. Оценка возможностей УЗИ при определении взаимоотношения объемного образования со стволом нерва 126
5.1.6. Оценка эффективности УЗИ при диагностике полного анатомического перерыва нерва 127
5.2. Выводы 128
5.3. Практические рекомендации 129
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ…….. 145
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ…..…… 146

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Компрессионно-ишемические невропатии (КИН) - это гетерогенная группа заболеваний, возникающих на фоне острой или хронической травматизации нервов в анатомически уязвимых местах. Туннельные невропатии (ТН) - вариант КИН, отличительным признаком которого является ущемление нерва в узком и жестком анатомическом туннеле (ловушке) в условиях нарастающего конфликта между уменьшающимся объемом туннеля и (или) увеличивающимися поперечными размерами нервного ствола. Важной особенностью этих состояний является наличие "ловушки", которая даже после устранения первичных провоцирующих факторов может не позволить патологическому процессу разрешиться самостоятельно, как это происходит в случае сдавления нерва вне туннеля.

Заболевания периферической нервной системы являются одной из наиболее частых причин обращения пациентов к неврологам [174]. На долю заболеваний и травм периферической нервной системы приходится до 76% случаев временной нетрудоспособности в амбулаторно-поликлинических учреждениях и до 55,5% - в стационарах [42, 15, 61].

Однако данные об общей распространенности ТН разнятся, так как нет консенсуса по нозологической систематике этой группы заболеваний, и в литературе упоминаются от 25 [97] до 40 и более [50, 3, 35, 27, 6] различных видов ТН. Известно, что доля ТН в структуре всех заболеваний периферической нервной системы достигает 30-40% [35, 42, 27, 61]. При этом до 86% случаев приходится на ТН верхних конечностей [50, 27]. По данным R. Latinovic общая заболеваемость наиболее распространенными формами ТН верхней конечности (невропатии срединного, локтевого и лучевого нервов) составляет 329,1 случаев на 100 000 населения в год [198].

В большинстве представленных в литературе классификаций упоминаются до 10 различных ТН верхней конечности [27, 3, 35, 18, 34].

Однако часть из описанных нозологических форм встречаются крайне редко и имеют спорные диагностические критерии. К ТН, по которым пока нет нозологического консенсуса, можно отнести упоминающиеся в литературе синдромы круглого пронатора, супракондилярного отростка плеча, аркады Стразера, сдавления мышечно-кожного и межпальцевых нервов, а также радиальный туннельный синдром со сдавлением глубокой ветви лучевого нерва без признаков двигательных нарушений [97, 236].

В настоящее время пять форм ТН верхней конечности имеют четкие диагностические критерии и признаются, без исключения, всеми авторами: 1) синдром карпального канала (сдавление срединного нерва в канале запястья), 2) кубитальный туннельный синдром (сдавление локтевого нерва на любом из уровней в пределах области локтя), 3) синдром спирального канала (сдавление лучевого нерва на уровне спиральной борозды плечевой кости), 4) синдром канала супинатора (сдавление глубокой (двигательной) ветви лучевого нерва в верхней трети предплечья), 5) синдром канала Гюйона (сдавление локтевого нерва в области запястья) [30, 97, 198, 134, 6].

Диагноз ТН ставится на основании данных анамнеза, клинической картины и результатов электрофизиологического исследования (ЭФИ), с помощью которого, в большинстве случаев, возможно достоверно локализовать уровень поражения и определить степень нарушения функции нерва [261, 306, 157, 140, 170, 75, 251, 248, 89, 315, 216, 106, 151, 258, 79, 99]. Однако клинико-электрофизиологическое исследование (КЭФИ) не предоставляет информации о морфологических изменениях нервного ствола и окружающих его анатомических структур [214, 246]. Понимание только функционального аспекта поражения ограничивает врачебную тактику, особенно в случаях вторичных ТН, когда сдавление нерва в туннеле вызвано локальным патологическим процессом, в случаях многоуровневого поражения, а также в ситуациях, когда проведение ЭФИ ограничено атрофией индикаторных мышц или рубцовыми изменениями в зоне осмотра [250, 128, 121, 285]. Применение методов лучевой визуализации с высоким

уровнем дифференцировки мягких тканей позволяет изучить морфологию патологического процесса, оценить степень поражения нервного ствола, выявить причины его сдавления [30, 214, 246]. При этом возможности магнитно-резонансной томографии (МРТ) оказываются ограниченными в связи с большой протяженностью периферического нерва. В последние годы для визуализации нервов все чаще применяется ультразвуковое исследование (УЗИ).

Степень разработанности темы

В настоящее время накоплен достаточный объем клинического материала, подтверждающий ценность УЗИ, в том числе и для диагностики ТН [246, 103, 172, 197, 287, 317, 134, 322, 267, 287]. В ряде фундаментальных исследований была подтверждена принципиальная возможность ультразвуковой (УЗ-) визуализации [135, 256], сформирован надежный УЗ-паттерн [143, 279], описана УЗ-топографическая анатомия [256, 153, 90, 137, 223], а также проведена оценка точности УЗ-измерений различных периферических нервов [279, 92]. Описана УЗ-семиотика наиболее часто встречающихся ТН [214, 83, 255, 217].

Однако большинство работ по сопоставлению результатов измерений нерва методами прямой и ультразвуковой визуализации проводили или in vitro [143, 279], или на трупах [135, 256]. В единичных на сегодняшний день исследованиях in vivo основное внимание уделяется подтверждению точности УЗ-оценки продольных размеров нерва [44, 59], необходимых для описания полного разрыва и недостаточных при диагностике невропатий, проявляющихся утолщением нервного ствола [83, 256]. Исследования по сопоставлению результатов измерений поперечных размеров нерва in vivo методами прямой и ультразвуковой визуализации в доступной литературе не обнаружены.

Основное число работ по УЗ-семиотике ТН посвящено синдрому запястного канала и невропатии локтевого нерва в области локтя. Однако в

большинстве этих исследований описаны локальные изменения нервного ствола в области компрессии, и нет данных о его состоянии в удаленных сегментах [280, 241, 306, 240, 159, 294, 303, 71, 80, 129, 313, 224, 105, 195, 190, 171, 225]. Нет единого мнения об уровне корреляционной взаимосвязи между площадью поперечного сечения (ППС) нерва и степенью его поражения при ТН. В литературе встречаются указания как на высокий уровень корреляции [280, 294, 306, 248, 266, 299, 166, 105, 326, 250, 216, 288, 149, 104], так и на ее отсутствие [303, 317, 140, 228, 190, 277, 237, 220, 80, 225]. В доступных исследованиях наблюдаются разночтения в оценке диагностической эффективности УЗИ при ТН, а пороговые значения ППС нерва определяются в большом диапазоне [228, 166, 266, 124, 216, 277, 151, 292, 224, 177, 317, 71]. Кроме того, стандарты методики измерения ППС окончательно не определены. Представленные в литературе данные по УЗ-семиотике редких ТН верхней конечности, прежде всего синдрома канала Гюйона и синдрома канала супинатора, крайне малочисленны.

Одной из ключевых задач, решаемых при лучевом обследовании пациентов с вторичными ТН, является описание локальных патологических процессов, провоцирующих возникновение туннельного конфликта [30, 140, 315]. Во многих исследованиях и клинических отчетах подробно описаны и гистологически верифицированы разнообразные опухоли и опухолеподобные состояния, вызывающие сдавление нерва [99, 140, 228, 166, 248, 266, 216, 277, 74, 292, 288, 172, 113, 317]. Однако практически отсутствуют работы, подтверждающие возможности УЗИ по оценке взаимоотношения ствола нерва и объемного образования.

У пациентов с травмой верхних конечностей, в ситуациях, когда при ЭФИ определяется полное нарушение проведения по нерву, возникает необходимость дифференцировать тотальный анатомический перерыв нервного ствола от поражения, протекающего с признаками полной утраты аксонов на фоне сохранного эпиневрия [172, 134, 81, 325, 74, 167, 204, 188, 244, 262]. Однако лишь небольшое число работ посвящено оценке

возможностей УЗИ для диагностики полного анатомического перерыва нерва [98, 44, 59, 1].

В доступных литературных источниках нет четко сформулированных показаний для УЗИ нервов при различных ТН верхней конечности, а имеющиеся отдельные рекомендации нельзя назвать полными [244, 222, 99].

Таким образом, улучшение диагностики ТН верхних конечностей за счет применения УЗИ является актуальной проблемой. Недостаточная изученность темы, противоречивость, а по ряду вопросов малочисленность имеющихся данных определяют актуальность данного исследования.

Цель исследования

Повысить эффективность диагностики ТН верхней конечности за счет применения УЗИ.

Задачи исследования:

1. Оценить точность УЗ-измерений периферических нервов in vivo.

2. С помощью УЗИ оценить особенности изменения поперечных размеров нервов верхней конечности при ТН.

3. Определить направленность и уровень корреляционной взаимосвязи между ППС и скоростью распространения возбуждения в сегментах срединного и локтевого нервов.

4. Оптимизировать методику УЗ-оценки ППС нерва при карпальном и кубитальном туннельных синдромах. Выявить пороговые значения ППС нервного ствола для диагностики ТН верхней конечности.

5. Оценить возможности УЗИ при определении взаимоотношения объемного образования со стволом нерва.

6. Оценить эффективность УЗИ при диагностике полного анатомического перерыва нерва.

Научная новизна исследования

1.Подтверждена точность ультразвуковой оценки поперечных размеров периферических нервов в сопоставлении с операционными данными.

2. Дополнены представления об изменении ППС нервного ствола при ТН верхней конечности, включая различные сегменты в области туннеля и удаленные отделы. Описан каскадный характер утолщения нерва в карпальном и кубитальном туннелях, объясняющий миграцию уровня с максимальной площадью поперечного сечения.

3. Получены сведения о реакции поверхностной ветви лучевого нерва в ответ на сдавление его глубокой ветви. Описано утолщение ветвей лучевого нерва при его поражении в области плеча.

4. Выявлены пороговые значения ППС, а также индексов утолщения нервного ствола для диагностики сдавления локтевого нерва в канале Гюйона и глубокой ветви лучевого нерва в канале супинатора.

5. В сопоставлении с операционными данными и результатами МРТ подтверждена точность ультразвуковой оценки взаимоотношения объемного образования со стволом нерва.

Практическая значимость

1. Подтверждены возможности УЗИ при измерении поперечных размеров периферических нервов и оценке взаимоотношения объемного образования со стволом нерва, что позволяет дополнить работы обосновывающие методику УЗ-визуализации периферических нервов.

2. Расширены представления об изменениях нервного ствола при ТН. Описана реакция всего нервного ствола на фокальное сжатие, включая удаленные от туннеля сегменты, а также различные сегменты в области туннеля. Показана необходимость оценки всех сегментов нерва в области туннеля, включая дистальный, недооценка которого в 10,9% случаев синдрома запястного канала может быть причиной ложноотрицательных результатов УЗИ.

3. Усовершенствована методика УЗ-диагностики карпального и кубитального туннельных синдромов. Использование максимального значения ППС нерва, найденного на отрезке, объединяющем все сегменты в области туннеля, позволяет увеличить уровень информативности диагностического теста, в сравнении с общепринятой методикой, сделав его выполнение более удобным для оператора. УЗ-оценка степени ладонного смещения ретинакулума карпального канала (retinaculum flexorum) на уровне проксимального ряда костей запястья позволяет увеличить эффективность диагностики и избежать технических ограничений, возникающих при измерении на дистальном уровне.

4. Выявлены пороговые значения ППС, а также индексов утолщения нервного ствола для диагностики ТН верхней конечности.

5. Расширены показания к УЗИ нервов верхних конечностей.

Методология и основные методы исследования

Диссертационное исследование выполняли в несколько этапов.

На первом этапе изучали отечественную и зарубежную литературу, посвященную данной проблеме. Всего проанализировали 329 источников, из них 63 отечественных и 266 - зарубежных.

На втором этапе с помощью УЗИ обследовали 298 пациентов с признаками ТН верхних конечностей и 200 здоровых лиц в качестве контроля. Отбор в группы проводили по данным клинического и электрофизиологического исследований. Дополнительно обследовали 66 пациентов для подтверждения точности УЗ-измерений нервов, 40 пациентов для определения возможностей УЗИ при оценке взаимоотношения нерва и объемного образования и 44 пациентов для оценки эффективности УЗИ при диагностике разрыва периферического нерва. Результаты УЗИ сопоставили с данными интраоперационных измерений и МРТ. Для оценки межэкспертной надежности два независимых оператора проводили измерение нервов на одной и той же серии УЗ-изображений.

На третьем этапе диссертационного исследования проводили статистическую обработку результатов и анализ возможностей УЗИ при диагностике ТН верхней конечности. Полученные количественные характеристики нервов при различных стадиях нарушения проведения сравнивали с помощью непараметрических критериев (Манна-Уитни, медианного хи-квадрат, модуля ANOVA). Взаимосвязь между ППС нерва и степенью нарушения функции нерва описывали с помощью коэффициента линейной корреляции Пирсона. Пороговые значения ППС нерва получали методом построения классификационных деревьев и с помощью ROC-анализа. Полученные количественные данные обрабатывали с помощью системы Statistica for Windows (версия 10. Лиц. BXXR310F964808FA-V). Количественные данные представлены в виде: M±m (M - среднее значение, m - стандартная ошибка среднего), Me (медиана), Min - Max (минимальное и максимальное значения), LQ - UQ (квартильные значения). Различия считали достоверными при $p \leq 0{,}05$.

Положения выносимые на защиту:

1. УЗИ позволяет точно оценить поперечные размеры периферических нервов, что подтверждается результатами сопоставлений in vivo эхографических, интраоперационных и МРТ данных.

2. Определяемое при УЗИ фокальное увеличение ППС нерва в области туннеля при незначительных изменениях его удаленных сегментов является важным и доступным для количественной оценки признаком ТН верхней конечности. Увеличение ППС нерва хорошо отражает нарастающие функциональные нарушения, определяемые электрофизиологическим методом. При ТН возможно увеличение ППС нерва на входе в туннель, в самом туннеле и на выходе из него.

3. Выявленные в нашем исследовании пороговые значения ППС и индексов утолщения нервов верхней конечности можно использовать в качестве диагностических тестов для подтверждения ТН. При карпальном и

кубитальном туннельных синдромах максимальное значение ППС нерва, найденное на отрезке, объединяющем все сегменты в области туннеля (S2-выход, S3-туннель, S4-вход), является оптимальным диагностическим тестом с более высоким уровнем информативности, чем при оценке ППС каждого сегмента в отдельности.

4. УЗИ позволяет точно оценить взаимоотношение объемного образования со стволом нерва, что подтверждается результатами сопоставлений эхографических, интраоперационных и МРТ данных.

5. УЗИ позволяет подтвердить или исключить полный анатомический перерыв нерва у пациентов с посттравматической невропатией, протекающей по данным КЭФИ с признаками полной утраты аксонов.

Личный вклад автора

Тема и план диссертации, ее основные идеи и содержание определены совместно с научным руководителем на основании многолетних целенаправленных исследований. Автором выполнен аналитический обзор литературы по изучаемой проблеме. Автор лично проводил УЗИ всем представленным пациентам, систематизировал наблюдения и осуществлял их анализ.

Степень достоверности результатов проведенного исследования определяется значительным и репрезентативным объемом обследованных пациентов (n=410), применением в качестве контроля высокопольной МРТ, интраоперационной верификацией, а также обработкой полученных данных адекватными методами математической статистики.

Апробация результатов

Основные результаты работы доложены и обсуждены на: Международном Невском радиологическом форуме (СПб., 2013, 2014, 2015); Всероссийском национальном конгрессе лучевых диагностов и терапевтов

«Радиология - 2012» (Москва, 2012); Европейском радиологическом конгрессе (Вена, 2014, 2016); Российской научно-практической конференции «Поленовские чтения» (СПб., 2013); Научно-практической конференции «11-я школа неврологов» (СПб., 2013); Российской научно-практической конференции с международным участием «Дифференциальный диагноз в клинике нервно-мышечных болезней» (Москва, 2014); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные технологии функциональной и ультразвуковой диагностики в клинической медицине - III» (СПб., 2015); заседаниях Санкт-Петербургского радиологического общества (СПб., 2012, 2013, 2014, 2015). Всего 14 докладов. Апробация диссертации прошла на заседании проблемной комиссии «Нервные и психические болезни» ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Внедрение в практику

Результаты диссертационного исследования используются в практической работе отделений лучевой диагностики, неврологии, хирургии, травматологии и ортопедии медицинского центра АО «Адмиралтейские верфи», медицинского центра «Reaclinic», ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, Санкт-Петербург. Разработанные по результатам исследования учебные пособия и методические рекомендации внедрены в учебный процесс на кафедре лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России , Санкт-Петербург.

Публикация материалов

По теме диссертационного исследования опубликованы 34 печатные работы, из них три учебных пособия и четыре статьи в журналах, определенных перечнем ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 168 страницах машинописного текста и состоит из введения, обзора литературы, описания материала и методов исследования, изложения собственных результатов проведенного исследования, заключения, включающего обсуждение полученных результатов, выводов и практических рекомендаций, а также списка используемой литературы, который включает 329 источников (57 отечественных и 272 зарубежных). Диссертация иллюстрирована 20 рисунками, 13 таблицами.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЛУЧЕВОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ТУННЕЛЬНЫМИ НЕВРОПАТИЯМИ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1. Особенности стратегии ведения пациентов с туннельными невропатиями верхней конечности

ТН верхней конечности представляют собой важную социально-экономическую проблему, устойчиво сохраняя позиции в статистике потерь трудоспособности населения [141, 174, 42, 15, 61].

Синдром запястного канала – наиболее часто встречающаяся ТН [136, 140, 228, 242, 119, 183, 75, 122, 77, 286, 295, 89, 155, 232, 216, 172, 113, 196, 243, 121, 199] с уровнем заболеваемости до 280 случаев на 100 тыс. населения [198, 140, 170, 242, 128, 151, 199] и распространенностью в популяции до 3-5% [70, 157, 299, 251, 124, 216, 104]. Доля синдрома запястного канала в структуре других ТН достигает 90% [157, 283, 140]. По данным Американской Академии Неврологии риск возникновения данной ТН в течение жизни составляет 10% [222, 208] и может достигать 15% у работающих в неблагоприятных условиях труда [222].

Второе место по частоте встречаемости занимает ТН локтевого нерва в кубитальной области [229, 94, 261, 306, 222, 297, 326, 250, 177, 89, 315, 310, 319, 112, 203, 71, 288, 113, 293, 79, 81, 148, 111, 265, 178] с уровнем заболеваемости в пределах 25-44 случаев на 100 тыс. населения [229, 198, 222, 297, 250, 112] и распространенностью среди активно работающих до 3,6% [311, 198, 297, 265]. Доля заболевания в структуре других ТН достигает 20% [89].

Поражение лучевого нерва в области спиральной борозды является третьей по частое встречаемости фокальной невропатией верхней конечности [181]. Однако данные литературы по эпидемиологии этого заболевания рознятся. Есть указания об относительно высокой доле поражения лучевого нерва в структуре ТН достигающей 21% [161, 108]. Другие авторы

описывает эту ТН как крайне редкую [107]. Противоречивость данных представленных в различных исследованиях связана, прежде всего, с отсутствием единой классификации поражений лучевого нерва в области плеча. В литературе описаны различные механизмы возникновения невропатии, среди которых: частичный или полный разрыв ствола нерва при травме конечности [130, 310, 238, 244, 188], эпизод внешнего сдавления нерва по типу «субботнего паралича» [161, 147, 134, 81] и стойкое внутреннее ущемление нерва по механизму ТН [43, 107, 81, 41]. В большинстве эпидемиологических исследований нет четкой дифференциации по механизму поражения и учитывается только уровень возникновения невропатии.

ТН локтевого нерва в канале Гюйона [222, 89, 106, 127, 114, 186, 194] и ТН заднего межкостного нерва в канале супинатора [264, 87, 293] по данным различных авторов встречаются крайне редко и уровень их распространенности в популяции не превышает 0,03% и 0,003% соответственно [121].

Социальные и экономические последствия ТН отражены преимущественно в работах по синдрому запястного канала. По данным литературы количество выполняемых в год декомпрессий запястного канала достигает 400-500 тысяч в США [136, 242, 119, 268, 155, 243, 99] и 300 тысяч в Германии [141]. В США затраты на одного пациента с учетом стоимости лечения и потери трудоспособности составляют около 30 000$ [136, 242], а общие экономические потери превышают 2 млрд. $ в год [119, 268, 155, 243, 99]. Таким образом, совершенствование диагностики и лечение ТН имеет важнейшее социальное и экономическое значение.

Компрессионно-ишемические невропатии (КИН) - это гетерогенная группа заболеваний, возникающих на фоне острой или хронической травматизации нервов в анатомически уязвимых местах. Изменения, происходящие в нервном стволе при компрессии, общие для всей группы и включают ишемию, отек и развивающиеся при длительном течении

дегенеративные процессы [83, 38, 118, 256, 74, 237, 288, 161, 197, 142, 209, 239, 139]. Однако условия, в которых происходит сдавление нерва, могут существенно отличаться. Наличие или отсутствие в зоне первичного сдавления "ловушки" - узкого и относительно жесткого анатомического туннеля окружающего ствол нерва, является важным патогенетическим фактором, разделяющим КИН на два требующих разного подхода варианта [27, 61, 214, 315, 293, 134, 97].

КИН, развивающиеся вне жестких анатомических туннелей, после устранения провоцирующих факторов могут разрешаться самостоятельно и в большинстве случаев не требуют специального лечения [179, 147]. Обычно такие состояния развиваются после эпизода внешнего сдавления конечности в месте, где нерв недостаточно защищен [161, 147, 134], или на фоне внутреннего сжатия нерва, возникающего при определенных положениях конечности (гиперфлексия, гиперэкстензия, супинация) [27, 315, 293, 134, 297, 157, 264, 121, 26].

При ТН, когда отек и увеличение поперечных размеров нерва происходит в зоне жесткого анатомического туннеля, может произойти "захват" нервного ствола с развитием порочного круга. Нарастающий конфликт между уменьшающимся объемом туннеля и (или) увеличивающимся размером нерва [7] определяет характерное для ТН прогредиентное течение. ТН, в отличие от вариантов связанных с позиционной компрессией, требуют своевременного и адекватного консервативного лечения, а в ряде случаев и выполнения хирургической декомпрессии [242, 156, 293, 81, 121, 41].

Таким образом, дифференциация КИН на невропатии, связанные с ущемлением нерва в анатомической ловушке и состояния, развивающиеся на фоне эпизодов сдавления нервного ствола, является важной диагностической задачей, решение которой позволяет разделить пациентов на две принципиально разные по тактике ведения группы. Однако в ряде ситуаций (сдавление лучевого нерва на уровне спиральной борозды, сдавление

локтевого нерва в кубитальной области) такое решение не может быть принято без лучевой оценки состояния нервного ствола. При этом анамнестические данные (наличие или отсутствие эпизода интенсивного и (или) длительного внешнего сжатия конечности, внутреннее сдавление нерва при определенных привычных или вынужденных положениях руки) не всегда могут быть достаточным основанием для выбора тактики ведения пациента.

Принято различать первичные (идиопатические) и вторичные ТН [140, 74, 292, 83]. При первичных ТН конфликт между объемами туннеля и его содержимого возникает на фоне локальных физиологических процессов (физическая нагрузка, возрастные дегенеративные изменения), которые, нередко, усугубляются общей патологией (сахарный диабет, гипотериоз, акромегалия, эндокринные сдвиги при беременности и климаксе, хроническая сердечная недостаточность, хроническая почечная недостаточность) [27, 3, 70, 157, 214, 255, 83, 36, 62, 31]. При вторичных ТН конфликт между объемами туннеля и его содержимого возникает на фоне локальных патологических процессов, которые, в свою очередь, можно разделить на состояния, поддающиеся консервативному лечению и образования, требующие хирургического удаления.

Все это определяет три основных направления в стратегии ведения пациентов с ТН: 1) неспецифические мероприятия, направленные на декомпрессию нерва и создание условий для его регенерации, 2) лечение локальных патологических процессов в туннеле, 3) лечение общей патологии. При этом тактика может быть консервативной или хирургической. Для выбора тактики в первом стратегическом направлении принято ориентироваться на степень тяжести невропатии и для этого, в большинстве случаев, достаточно клинической и электрофизиологической оценки функции нерва [293, 261, 306, 157, 140, 170, 75, 251, 248, 89, 315, 216, 106, 151, 258, 79, 99]. Тактический алгоритм во втором стратегическом направлении ориентирован, прежде всего, на вид локального

патологического процесса вызывающего компрессию нерва в туннеле. И если этот процесс поддается терапевтическому воздействию (синовит суставов и сухожильных влагалищ, бурсит, периневральный отек, тромбоз сосуда) - тактика может быть консервативной, если нет (интраневральные и периневральные опухоли, кисты, патология костей, кальцинаты, остохондромные тела, рубцовые изменения, аномалии мышц и сосудов) - хирургической [242, 315, 106, 316, 193, 81, 148, 121, 262, 270]. Для выбора тактики лечения локальных патологических процессов в туннеле необходимо применение методов лучевой визуализации, однако их применение в рутинной практике ограничено [148, 270, 30, 183, 43, 269, 324]. Ориентация только на данные КЭФИ и, как следствие, понимание только функционального аспекта поражения ограничивает врачебную тактику. Отсутствие в диагностическом алгоритме методов визуализации приводит к тому, что тактика лечения локального патологического процесса в туннеле фактически определяется функциональным состоянием пораженного нерва, то есть следствием, а не морфологией первичного заболевания. Это может приводить к ошибкам, когда состояния, требующие хирургического лечения (опухоли, кисты, рубцовые изменения, костная патология) ведутся консервативно.

1.1.1. Консервативное лечение

Консервативное лечение применяется при легких формах ТН, когда в зоне иннервации пораженного нерва определяются только чувствительные нарушения и отсутствуют признаки денервации мышц, а в туннеле исключены объемные образования резистентные к терапевтическому воздействию [242, 140, 315, 193, 283, 297, 250, 236, 128, 121, 89, 315, 156, 106, 316, 185, 293, 134, 72, 121]. В качестве неспецифических мероприятий направленных на декомпрессию нерва и создание условий для его регенерации применяют модификацию активности конечности, ее эргономичное позиционирование, в том числе с помощью шинирования, и

ультразвуковую терапию [242, 227, 10]. Для лечения локальных патологических процессов потенциально чувствительных к консервативному воздействию в большинстве случаев используют инъекции стероидов в туннель [242, 293, 121, 10, 37]. Оценку эффективности декомпрессии и регенерации нерва можно проводить по данным КЭФИ. Информация о функциональном состояние нерва позволяет также косвенно контролировать динамику локального патологического процесса вызывающего ТН, однако для прямой оценки необходимо применения методов лучевой визуализации.

1.1.2. Хирургическое лечение

По данным литературы общими показаниями к хирургическому лечению различных ТН являются: 1) умеренная или тяжелая степень невропатии [283, 140, 297, 250, 236, 122, 89, 315, 156, 216, 134, 199, 324, 37] с выраженной потерей чувствительности [119, 297, 216] и денервацией мышц [242, 119, 106, 293, 236, 203, 293, 193, 134, 324]; 2) неэффективность консервативного лечения [95, 222, 183, 242, 119, 297, 236, 315, 122, 89, 156, 106, 203, 82, 147, 65, 293, 193, 227, 134, 72, 81, 148, 121, 97, 199, 324, 25], 3) выявление в туннеле резистентных к терапии образований вызывающих сдавление нерва [242, 297, 315, 106, 316, 193, 7]. При этом, атрофия мышц [283, 297, 236, 128, 315, 216], а также выявление по результатам лучевого обследования опухоли или кисты в туннеле [72, 81, 148, 121, 308, 7], в большинстве случаев, являются показаниями к декомпрессии нерва, минуя предварительный консервативный этап.

При планировании вида операции (простая декомпрессия, декомпрессия с различными вариантами транспозицией нерва, медиальная эпикондилоэктомия и др.), ширины оперативного доступа (открытая декомпрессия с широким или минимальным разрезом, эндоскопическая декомпрессия) и объема оперативного вмешательства (рассечение ретинакулума, невролиз, эпиневротомия, удаление объемных образований) учитывается не только степень нарушения функции нерва, но и

морфологические изменения нервного ствола и окружающего его туннеля по результатам лучевого обследования [232, 148]. Так, по данным большинства авторов, при гипермобильности локтевого нерва (подвывих/вывих из надмыщелково-локтевого желоба) передняя транспозиция является вариантом выбора [148, 315, 319, 93, 110, 293]. В сложных ситуациях (аномалии строения нерва, его ветвей и окружающих сосудов, периневральные рубцы или образования, несколько точек сдавления нерва) предпочтение отдается широкому доступу, а в случае выполнения эндоскопической декомпрессии анатомическая информация позволяет избежать ятрогенных ошибок [172, 12].

По данным литературы частота неудачных исходов при хирургическом лечении ТН может достигать 20-25% [183, 315, 232, 182, 324, 222]. Варианты неудачных исходов хорошо изучены и к ним принято относить: 1) сохранение симптомов, что при исключении ошибочного диагноза ТН, в большинстве случаев, ассоциируется с неполным рассечением связки ретинакулума туннеля (до 58% ревизий), пропущенным объемным образованием или неустранением всех точек сдавления нерва при многоуровневом поражении [232, 182, 74, 288, 172, 243, 97, 148], 2) возобновление симптомов вследствие избыточного периневрального рубцевания (от 23 до 100% ревизий) [232, 182, 172, 243, 10], 3) ухудшение имеющихся или появление новых симптомов, что чаще всего бывает следствием ятрогенного повреждения нерва, его ветвей или соседних нервов и сосудов (до 1% - 6 % ревизий) [182, 74, 172, 232, 106, 167, 258, 243, 10]. При этом сравнение результатов дооперационного и послеоперационного ЭФИ обеспечивает надежность вывода о неэффективности декомпрессии, однако причины неудачи могут быть установлены только по результатам лучевого обследования [277, 288, 172, 113, 232, 231, 43].

Учитывая крайне низкую эффективность повторных операций, при которых число неудачных исходов достигает 40-95% [232, 7], а также структуру выявленных ошибок совершенных при хирургическом лечении

ТН, многие авторы сообщают о необходимости тщательного предоперационного лучевого обследования пациента с изучением всех морфологических особенностей оперируемого туннеля [183, 43, 269, 324, 56, 12, 49].

При травме конечности может возникнуть необходимость дифференциации полного разрыва нервного ствола (нейротмезис) от поражения протекающего с признаками полной потери аксонов при сохранении анатомической целостность нерва (аксонотмезис) (97, 6). Оба этих состояния проявляются одинаково при КЭФИ и в случаях закрытых повреждений могут быть дифференцированы только по результатам лучевого исследования [96, 247, 47, 47]. Ущемление нерва может происходить в зоне перелома кости (сдавление костным отломком, захват в костную мозоль, рубцы) [244, 238, 20], в зоне установленной металлоконструкции [188, 244, 238, 262] или в жестком анатомическом туннеле, оказавшемся в области посттравматических отека и гематомы [172, 134, 26, 22, 52, 24, 6]. Все это определяет различные варианты врачебной тактики, которая может быть выжидательной при сохранной целостности нерва и отсутствии признаков его сдавления, и хирургической при разрыве или ущемлении нерва (шов нерва, пластика нерва, невролиз, освобождение из под металлоконструкции, декомпрессия в анатомическом туннеле) [244, 188, 96].

Таким образом, для формирования стратегия ведения пациентов с ТН и выбора правильной лечебной тактики в каждом клиническом случае необходимо понимание всех аспектов патологического процесса с комплексной оценкой функциональных и морфологических изменений. Это может быть достигнуто только при включении в диагностический алгоритм методов лучевой визуализации.

1.1.3. Патофизиологические особенности регенерации периферических нервов и их влияние на тактику лечения пациентов с ТН.

Важные коррективы в алгоритм ведения пациентов с ТН вносят патофизиологические особенности процессов регенерации периферических нервов [96, 30, 188]. По данным многочисленных экспериментальных и клинических исследований сроки возможного восстановления функции поврежденного нерва ограничены за счет снижения способности аксонов к регенерации и развивающейся атрофии денервированных мышц. Вероятность успешной аксональной регенерации начинает снижаться уже со 2-го месяца [188] и теряется через 18-24 месяцев после повреждения за счет фиброза и облитерация шванновских футляров дистального отрезка нерва [96, 286, 266, 238, 6]. Денервированные мышцы атрофируются и фиброзируются теряя способность к восстановлению в течении 12-18 месяцев [96, 121, 148, 238], а первые фиброзные изменения могут быть обнаружены уже в начале 3 недели после поражения нерва [96, 188]. В силу этих причин сроки консервативного ведения пациентов с ТН ограничены и не должны превышать 4-6мес [96, 93, 188, 148]. В свою очередь эффективность хирургического лечения снижается с увеличением степени тяжести невропатии, а время восстановления положительно коррелирует с продолжительностью симптомов [188, 157, 296, 286, 266, 315, 93, 185, 93, 167, 293, 193, 308, 285]. Все это определяет актуальность ранней диагностики ТН [170, 132, 98, 123, 231].

Ограниченное применение методов лучевой визуализации при ведении пациентов с невропатиями приводит к несвоевременному выявлению факторов, вызывающих компрессию нерва, а в случаях травматических поражений - к отсроченной диагностике полного анатомического перерыва нервного ствола. Это, в конечном итоге, ведет к снижению эффективности хирургического лечения, и значительному ухудшению прогноза заболевания.

1.2. Методы диагностики туннельных невропатий верхней конечности

Три стратегических направления при ведении пациентов с ТН определяют основные задачи диагностики: 1) выявление ТН, определение типа и степени поражения для планирования декомпрессии нерва, 2) определение локальных патологических процессов вызывающих сдавление нерва в туннеле, 3) диагностика общей патологии способствующей развитию ТН. По данным литературы, при решении каждой задачи ключевое значение имеют различные диагностические методики: 1) определение уровня, типа и степени поражения нерва - клиническое и электрофизиологическое исследования, 2) выявление локальных патологических процессов в туннеле - методы лучевой визуализации, 3) выявление общей патологии - методы лабораторной диагностики [250, 248, 180, 224, 247, 123, 325, 140, 40, 99].

1.2.1. Клиническое исследование

Для постановки диагноза ТН верхней конечности в большинстве случаев бывает достаточно клинического обследования. Это возможно благодаря характерным жалобам, анамнезу, а также провокационным тестам, чувствительность и специфичность которых может достигать 90% и более [214, 157, 283, 208, 296, 315, 155, 83, 228, 195, 75, 128, 286, 216, 293, 79, 199, 87, 220, 25]. Во многих работах оценивающих эффективность инструментальных методик при диагностике синдрома запястного канала именно клиническое обследование использовали в качестве "золотого стандарта" [70, 248].

Тем не менее, по данным литературы, к существенным ограничениям клинического осмотра нужно отнести: 1) сложность сбора и интерпретации жалоб, которые, в особенности пожилые пациенты, с трудом формулируют и отличают от проявлений сопутствующей ортопедической патологии [283, 251, 228, 89, 79], 2) наличие бессимптомных [70, 157, 79] и атипичных [157, 248, 199, 128, 228, 324] вариантов течения ТН, 3) относительно невысокая специфичность характерных для ТН парестезий, которые могут

систематически встречаться у 30% здоровых лиц [128, 251, 157, 140], 4) большое количество неврологической патологии с аналогичными или маскирующими ТН симптомами [140, 61, 297, 106, 141, 149, 79, 199, 21], 5) значительный разброс показателей диагностической эффективности провокационных тестов в различных исследованиях с колебаниями чувствительности в пределах от 8 до 100% и специфичности от 30 до 100% [268, 157, 283, 141, 89, 315, 155, 106, 140].

Достаточно точно определяя уровень поражения нерва, клиническое исследование, однако, не позволяет объективно оценить тип и степень его поражения [140, 228, 286], что необходимо для выбора правильной тактики лечения ТН. Для этого необходимо применение инструментальной диагностики [157, 326] и, прежде всего, методов позволяющих дать количественную оценку патологического процесса [286, 99, 158, 261, 170]. Констатируя преимущественно функциональные проявления ТН, клинический осмотр не предоставляет морфологической информации и не может выявить причины сдавления нерва [172].

1.2.2. Электрофизиологическое исследование

Изменение функционального состояния нерва при ТН можно с высокой точностью оценить с помощью электрофизиологического исследования (ЭФИ), включающего стимуляционную электронейромиографию (ЭНМГ) с исследованием проведения по нерву и, при необходимости, игольчатую электромиографию (ЭМГ) с исследованием биоэлектрической активности мышц [277, 244, 161]. ЭНМГ позволяет выявить локальное нарушение проведения по сенсорным и моторным волокнам нерва в области туннеля при сохранных аналогичных показателях в непораженных сегментах. С помощью ЭМГ можно оценить степень денервации мышц [315, 277, 199].

ЭФИ дополняет клинический осмотр и позволяет: 1) определить или подтвердить уровень поражения нерва; 2) определить степень и тип поражения нерва; 3) выявить ранние (доклинические) признаки

денервационно-реиннервационных изменений [199, 96, 315, 30]. В отличие от клинического осмотра, при ЭФИ можно получить объективную, количественную и независимую от сотрудничества с пациентом оценку нарушений двигательной и чувствительной иннервации [30, 141].

Определение типа и степени тяжести поражения нерва позволяет дать прогноз скорости его восстановления и выбрать тактику лечения [224, 297, 75, 315, 277, 106, 172, 199]. Инструментальное подтверждение диагноза ТН особенно важно в клинически неясных ситуациях, бессимптомных и атипичных случаях [105, 297, 75, 248, 158, 315, 156, 216, 277, 106, 113, 258, 99, 268]. При ЭФИ возможно выявление клинически латентных моторных нарушений, а также тестирование мышц, недоступных при клиническом осмотре [30]. ЭФИ позволяет объективно дифференцировать ТН верхней конечности от других вариантов поражения нервных стволов: плексопатий, радикулопатий, полиневропатий [214, 61, 228, 224, 297, 75, 315, 277, 149].

В многочисленных исследованиях подтверждается высокий уровень диагностической эффективности ЭФИ [140, 158, 136, 236, 250, 75, 177, 199, 139]. Так, при диагностике синдромов запястного и кубитального каналов чувствительность ЭНМГ достигает 85%, а специфичность превышает 95% [158, 236, 216, 277, 199, 177]. Считаясь методом "золотого стандарта" при диагностике ТН, ЭФИ часто используется в качестве подтверждающего исследования при оценке возможностей других инструментальных методик [157, 157, 283, 140, 94, 306, 261, 252, 272, 128, 251, 266, 89, 151, 123].

Тем не менее, анализ работ посвященных диагностике ТН, показывает что уровень эффективности ЭФИ может существенно отличаться и определяться различными авторами в значительном диапазоне. Прежде всего, это касается чувствительности метода [228, 195, 286, 251, 266, 315, 216, 71, 79, 209]. По данным многочисленных исследований частота ложноотрицательных результатов ЭФИ оценивается в пределах от 16 до 34% [272, 288, 157, 283, 140, 136, 69, 105, 190, 151]. При этом показатели чувствительности в различных работах могут колебаться от 49 до 86% [225].

Теоретическими основаниями для ложноотрицательных результатов могут быть: 1) начальная стадия ТН с минимальной компрессией нерва затрагивающей только немиелинизированные волокна отвечающие за парестезии и боль, но недоступные для ЭФИ [286, 72, 222], 2) выполнение ЭФИ в период восстановления функции нерва при легких формах ТН [286], 3) погрешности в технологии проведения ЭФИ [288].

Таким образом, к ограничениям клинического осмотра можно отнести низкую специфичность (более 30% ложноположительных результатов), а к недостатками ЭФИ – относительно низкую чувствительность (до 34% ложноотрицательных результатов) [251, 157, 69, 151]. В последнее время наметилась устойчивая тенденция сочетания результатов клинического и электрофизиологического исследований при диагностике ТН [283, 214, 95, 77, 190, 261, 306, 166, 224, 177, 216, 292, 71, 288, 172, 225, 216]. Данная стратегия, по мнению большинства авторов, обладает значительным потенциалом за счет комплементарности методик, когда высокая чувствительность клинического осмотра дополняется высокой специфичностью и объективностью ЭФИ [326, 266].

В практических рекомендациях Ассоциации электродиагностической медицины, Академии неврологии, Академии физической медицины и реабилитации Америки, а также в большинстве доступных обзорных исследований ЭФИ предлагается в качестве метода первой линии инструментальной диагностики ТН [158, 166, 268, 246, 79, 61]. Согласно рекомендациям Американской Академии хирургов-ортопедов по диагностике синдрома запястного канала, врач должен назначить ЭФИ, если клинические и/или провокационные тесты положительны и рассматривается хирургическое лечение (уровень доказательности II и III, класс рекомендаций Б) [170].

Таким образом, сочетание клинического и электрофизиологического исследований, обеспечивает рост эффективности выявления ТН. Однако это

не позволяет решить вторую задачу диагностики и определить факторы вызывающие сдавления нерва в туннеле.

1.2.3. Общие ограничения клинико-электрофизиологического исследования. Необходимость применения методов лучевой визуализации.

Клинико-электрофизиологическое исследование в большинстве случаев позволяет решить первую задачу диагностики ТН и, определив уровень, тип и степень поражения нерва, выбрать адекватную консервативную или хирургическую тактику декомпрессии нерва. Исключением являются несколько частных ситуаций, когда, по причине технических или патофизиологических ограничений, КЭФИ не может быть проведено корректно. Анализ литературы позволяет выделить следующие ограничения КЭФИ: 1) атрофия или заболевания индикаторных мышц, когда получение прямой информации о моторном проведении с помощью ЭНМГ ограничено или полностью невозможно, 2) многоуровневое поражение нерва, 3) обширные рубцовые изменения в зоне проведения ЭФИ, 4) случаи, когда две «критические» точки потенциального сдавления нерва лоцируются на сегменте, не отдающем ветвей доступных для дифференцированного анализа, 5) невозможность дифференцировать нейротмезис от полного аксонотмезиса.

Невозможность получения м-ответа с атрофированной мышцы или его искажение при воспалительных и посттравматических изменениях в ней ограничивает проведение ЭНМГ, не позволяя корректно определить уровень, тип и степень поражения нерва [128, 121, 285].

При многоуровневом поражении алгоритм локализации повреждения нерва по объему сенсомоторного дефекта, определяемого при КЭФИ, может быть неэффективен. Симптоматика проксимального поражения может маскировать дистальный дефект, при этом признаки повреждения нервного ствола скрывают сопутствующее поражение его ветвей. Или наоборот, одновременное повреждение нескольких ветвей может имитировать

поражение крупного ствола или сплетения [244, 197, 250, 297, 154, 149, 226, 324, 27, 61].

В случаях, когда две потенциальные точки сдавления нерва лоцируются на сегменте, не отдающем ветвей доступных для дифференцированного анализа, определить уровень сдавления сложно, так как определяемые при КЭФИ изменения будут общими для обоих туннелей. Так, по данным литературы, не всегда можно дифференцировать сдавление локтевого нерва в кубитальном туннеле, происходящее ниже отхождения ветви к локтевому сгибателю запястья, от сжатия в проксимальном отделе канала Гюйона [177, 89, 106, 71, 237, 186, 74, 214, 26]. Обе ТН проявляются одинаково, а состояние единственной отходящей между двумя туннелями чувствительной ветви (ramus dorsalis) не всегда является надежным показателем [89, 237].

Для определения тактики ведения пациентов с посттравматическими невропатиями принципиально важным является понимание степени поражения нерва с разделением пациентов на две группы: 1) выжидательная тактика (нейропраксия и аксонотмезис), 2) хирургическая тактика (нейротмезис) [97, 6]. Однако ЭФИ, разделяя обследуемых на группы с сохранным (нейропраксия и частичный аксонотмезис) и утраченным проведением (полный аксонотмезис и нейротмезис), не отвечает поставленной задаче, так как в обеих группах есть пациенты с шансами на спонтанную регенерацию нерва. Дифференциация полного аксонотмезиса и нейротмезиса при ЭФИ невозможна, так как оба эти состояния проявляются одинаково – отсутствием мышечного сокращения (М-ответа) при электрической стимуляции поврежденного нерва [96, 247, 310, 304, 188, 98, 244, 132, 47, 6]. Диагностика нейротмезиса может быть осуществлена только при визуальном осмотре нерва в ране, а при закрытых повреждениях - с помощью лучевых методов (УЗИ, МРТ).

Данное ограничение ЭФИ наиболее показательно проявляется при ведении пациентов с переломами плечевой кости, когда визуальная оценка

состояния лучевого нерва не проводится. Известно, что около 15-17% переломов плечевой кости сопровождаются поражением лучевого нерва [278, 204, 206, 304, 238, 144, 154, 188, 262]. По результатам оперативных вмешательств в структуре данной патологии можно выделить три группы: 1) полный разрыв нерва - от 7 до 33,3% ревизий; 2) сдавление сохранившего анатомическую целостность нерва фрагментами кости и (или) рубцами - от 6 до 23% ревизий; 3) контузия сохранившего анатомическую целостность нерва - до 74% ревизий [144, 188, 204, 238, 262, 278]. В большинстве случаев восстановление функции нерва происходит спонтанно в течение 3-6 месяцев после травмы, и доля таких пациентов по данным литературы достигает 70-96% [310, 188, 238, 262]. Необходимость хирургической коррекции, возникает только при разрыве или ущемлении нерва (первая и вторая группы) и по различным оценкам, не превышает 24-46% наблюдений [188, 204, 144]. Таким образом, у пациентов с закрытыми повреждениями выполнение ранней хирургической ревизии может привести к значительному числу неоправданных оперативных вмешательств. Этот аргумент определяет общепринятую тактику ведения данной патологии с рекомендуемым выжидательным периодом в пределах от 4 до 6 месяцев [204, 206, 167, 304, 262, 278, 310, 188, 238, 57, 6]. При этом в группу ожидания попадают пациенты, нуждающиеся в немедленной хирургической коррекции (полный анатомический перерыв, компрессионные поражения). В течение 4-6 месяцев выжидательного периода у данных пациентов значительно снижаются способности нерва к аксональной регенерации, а вместе с ними и шансы на успех хирургической реконструкции [188, 238]. Развивающаяся далее необратимая атрофия мышц практически полностью исключает возможность повторной операции, необходимость которой может возникнуть примерно в 13-31% выполненных реконструкций [144, 238, 262]. По данным литературы, при существующем в настоящее время алгоритме ведения посттравматических невропатий не менее чем в 7%-12,4% случаев восстановить функцию нерва не удается [262, 278]. Таким образом, при

закрытых повреждениях лучевого нерва КЭФИ не позволяет выделить группу пациентов нуждающихся в хирургической коррекции и избежать ненужного выжидательного периода.

При решении второй задачи диагностики ТН (определение локальных патологических процессов вызывающих сдавление нерва в туннеле), возможности клинического осмотра ограничены. И хотя, в некоторых случаях, при осмотре пациента могут быть выявлены косвенные признаки заболевания (отек, гематома, припухлость, пальпируемые образования в проекции туннеля), окончательный вывод о причине ТН сделать нельзя [165, 179, 193]. ЭФИ, как чисто функциональная методика, вообще не может предоставить информацию о морфологических изменениях нерва и окружающего его пространства. При этом выявление факторов провоцирующих сдавление нерва в туннеле актуально, так как может оказать существенное влияние на тактику ведения пациента.

Несмотря на то, что в структуре наиболее распространенных ТН (карпальный и кубитальный синдромы) преобладают первичные (идиопатические) формы, роль локальных патологических процессов достаточно высока [72, 302]. Так, по данным литературы, у пациентов с диагностированным при КЭФИ карпальным туннельным синдромом в 33-35% наблюдений могут быть выявлены морфологические изменения, влияющие на тактику лечения [171]. А при односторонних ТН объемный процесс определяется в 65% случаев [165].

В канале Гюйона и в канале супинатора преобладают вторичные формы ТН [72, 302, 185, 264]. В большинстве работ, изучающих ТН канала Гюйона, ганглиевая киста описана как основной этиологический фактор сжатия нерва [293, 114, 194, 243, 72, 106]. В структуре причин ТН супинаторного канала преобладают опухоли, определяемые в 39,4% случаев [185], из них наиболее часто - липомы [121]. Сдавление лучевого нерва в области спиральной борозды периневральным объемным образованием встречается крайне редко [107, 89] и чаще происходит на фоне

посттравматических изменений (захват в костную мозоль, сдавление костными отломками, рубцами, гематомой) [256, 89, 81, 247, 204, 188, 262, 278, 144, 267, 81].

Для выбора тактики лечения пациента с вторичной ТН необходимо оценить взаимоотношение объемного образования и нерва, а также определить вид патологического процесса и его потенциальную чувствительность к терапевтическому воздействию [83]. Однако решение этих вопросов невозможно без применения методов лучевой визуализации.

Во многих исследованиях и клинических отчетах подробно описаны и гистологически верифицированы разнообразные локальные патологические процессы, способные вызвать сдавление нерва в туннеле. Их можно разделить на две группы: 1) чувствительные к консервативному лечению, 2) требующие хирургического лечения.

К патологическим состояниям чувствительным к консервативному лечению принято относить: синовиты с расширением полости суставов [222, 296, 89, 270, 110, 264, 172, 65, 212, 113, 293, 193, 207, 269, 194, 134, 243, 102, 148, 148, 121] и синовиальных влагалищ [214, 95, 48, 296, 270, 172, 113, 165, 102, 99], бурситы [214, 113, 193, 249, 269, 222, 102, 81, 307], отек периневральных мягких тканей [222, 296, 113, 302], тромбоз сосуда в туннеле [270].

Группа состояний требующих хирургического лечения крайне разнообразна. Любые патологические процессы, приводящие к уменьшению размеров самого туннеля и (или) увеличивающие объем его содержимого могут провоцировать захват нерва [7]. В клинических отчетах и обзорах литературы в качестве факторов вызывающих ТН описаны: интраневральные и периневральные опухоли и кисты [73, 74, 83, 117], рубцовые изменения [113, 267, 81, 256, 148], остеофиты [48, 89, 110, 288, 113, 243, 81], дислокация костей [296, 102, 308, 145, 214], костные отломки, ложный сустав [214, 284, 191, 296, 113, 249, 227, 258, 194, 134, 72, 308, 148, 302], костная мозоль [256, 89, 81, 247, 6], гематома [48, 256, 296, 113, 316, 267, 134, 81, 148, 6],

амилоидные отложения [214, 222, 122, 89, 172, 113, 148], отложения при подагре [296, 106, 72, 81, 99, 53] и псевдоподагре [193, 72, 148], кальцинаты [320, 320, 72, 148], абсцесс [296: 81, 99], десмоид [143], пигментный виллонодулярный синовит [284, 89, 185], синовиальный остеохондроматоз [214, 233, 113, 193, 81, 148, 121, 307], фиброматоз ретинакулума туннеля [164], аневризма и псевдоаневризма артерии в туннеле [89, 110, 127].

В литературе представлены различные виды опухолей вызвавших ТН, среди которых: липома [214, 284, 89, 264, 185, 197, 215, 193, 114, 249, 227, 258, 269, 194, 134, 243, 275, 148, 148, 121, 307], фиброма [185, 269], гамартома [73, 99], гемангиома [214, 256, 185, 193, 227, 269, 194], шваннома [256, 284, 74, 83, 130, 185, 148, 302, 307, 99], нейрофиброма [256, 143, 83, 193], посттравматическая неврома [256, 99], миксома [193, 148], хондрома [193, 148]. Кисты в подавляющем большинстве случаев представлены периневральными и интранервальными ганглиями [214, 95, 48, 256, 284, 222, 89, 315, 73, 270, 106, 83, 316, 288, 172, 165, 147, 130, 185, 197, 113, 131, 193, 86, 114, 249, 186, 227, 258, 269, 194, 134, 243, 72, 308, 81, 148, 148, 121, 307, 99, 46]. Все факторы, провоцирующие компрессию нерва должны быть установлены заранее для правильного планирования объема операции [324, 183, 315, 83].

Кроме этого, планирование хирургической декомпрессии нерва требует тщательного изучения всех анатомических особенностей туннеля, что не может быть выполнено при КЭФИ. Недостаток анатомической информации, особенно при операциях с ограниченным визуальным контролем (эндоскопическая декомпрессия и декомпрессия с коротким (до 2-3см) разрезом) повышает риск травмы нерва или сосуда в туннеле [140, 191, 183, 250, 122, 248, 89, 315, 310, 216, 196]. Так при ревизиях выполненных после неудачной декомпрессии карпального канала ятрогенные повреждения были выявлены в 3-6% случаев [232]. Кроме того, аномалии мышц и сосудов могут выступать в качестве самостоятельных факторов способствующих сдавлению нерва в туннеле. А аномалия ретинакулума, ассоциирующаяся с

гипермобильностью локтевого нерва в области надмыщелково-локтевого желоба, влияет на выбор варианта оперативного вмешательства [148, 315, 319, 93, 110, 293].

В литературе описаны различные аномалии мышц в туннелях верхней конечности, среди которых: аберрантная мышца сгибатель указательного пальца, аномальное удлинение поверхностного сгибателя пальцев [214, 95, 296, 122, 89, 83, 172, 113] и червеобразных мышц [140, 296, 122, 89, 83, 172, 113] в карпальном туннеле, аномальная локтевая мышца в позадинадмыщелковой борозде [214, 222, 89, 310, 83, 110, 172, 210, 113, 211, 81, 148], аберрантные мышцы мизинца в канале Гюйона [214, 284, 315, 106, 83, 113, 114, 249, 227, 258, 243, 72, 308, 302], аномальная мышца плеча со сдавлением лучевого нерва [107].

Варианты анатомического строения нервов и сосудов разнообразны и среди них наиболее часто ассоциируются с ятрогенной травмой: деление срединного нерва на два ствола проксимальнее запястья (bifid median nerve), персистирующая срединная артерия запястья, различные варианты курса срединного нерва и его ветвей на запястье, смещение локтевого нерва в карпальный канал [122, 172, 162, 232, 288, 172, 196].

Эпидемиология анатомических вариаций определяемых в туннелях верхней конечности изучена недостаточно. При анализе выполненных декомпрессий карпального канала анатомические аномалии нерва и окружающих его анатомических структур были выявлены в 5,7% случаев [183]. Распространенность в популяции высокой бифуркации срединного нерва определяется различными авторами в пределах 2-15% [277, 287, 99, 77, 83]. При этом данная аномалия выявляется у 19% пациентов с подтвержденным по данным КЭФИ карпальным туннельным синдромом, 9% здоровых лиц и в 45% случаев сочетается с персистирующей срединной артерией запястья [77]. По данным литературы персистирующая срединная артерия определяется в карпальном канале у 3,4-20% здоровых добровольцев [140, 122, 48, 99]. Гипермобильность локтевого нерва на уровне

надмыщелково-локтевого желоба встречается у 10-30% пациентов с ТН локтевой области [319, 88, 288, 113, 317, 81].

При анализе причин неудачных исходов оперативного лечения ТН в случаях сохранения, возобновления, усиления старых или появления новых симптомов, данные КЭФИ позволяют достаточно точно предположить различные варианты осложнений, однако для планирования хирургической ревизии необходима детальная морфологическая информация [277, 288, 172, 113, 232, 231, 43].

В свете сказанного становится очевидным, что КЭФИ имеет ряд существенных ограничений при диагностике ТН верхней конечности, принципиально важных для планирования хирургического лечения и анализа причин неудачных оперативных вмешательств. Наиболее существенными из них являются:

1) атипичные клинико-электрофизиологические проявления ТН

2) атрофия индикаторных мышц, когда получение прямой информации при проведении ЭНМГ у пациентов с ТН невозможно или ограничено

3) обширные рубцовые изменения в зоне проведения ЭФИ

4) многоуровневое поражение нерва

5) отсутствие ветвей доступных для дифференцированного анализа на участке нерва с несколькими точками потенциального сдавления

6) невозможность дифференциации ущемления нерва в туннеле от невропатии развивающейся на фоне эпизодов внешнего сжатия конечности, или внутреннего сдавления нерва при невыгодных положениях руки

7) невозможность дифференциальной диагностики нейротмезиса и полного аксонотмезиса при посттравматических невропатиях

8) невозможность выявления причин сдавления нерва в туннеле и оценки потенциальной чувствительности локальных патологических процессов к терапевтическому воздействию

9) отсутствие оценки взаимоотношения объемного образования со стволом нерва

10) невозможность оценки анатомических особенностей туннеля, выявления аномалий нерва, его ветвей и окружающих сосудов при планировании хирургических декомпрессий с ограниченным визуальным контролем

11) невозможность определения причин неэффективности хирургических декомпрессий и выявления ятрогенных осложнений.

Таким образом, КЭФИ, не предоставляя морфологической информации, обеспечивает понимание только функционального аспекта поражения. Восполнить данный пробел в диагностическом алгоритме ТН можно только используя методы лучевой визуализации с высоким уровнем дифференцировки мягких тканей.

1.2.4. Рентгенография, компьютерная томография

По данным литературы применение рентгенографии и компьютерной томографии в диагностике ТН ограничено. Основной причиной этого является низкий уровень дифференцировки мягких тканей и, как следствие, невозможность визуализации периферического нерва и определения прямых признаков его сдавления [48, 140, 83, 267, 10, 41]. Тем не менее, данные методики могут быть успешно использованы в случаях патологии костных стенок туннеля [236, 43, 83, 219, 123, 10]. Компьютерная томография, в сравнении с МРТ, обеспечивает более высокий уровень визуализации костных структур при меньшей продолжительности исследования [165]. Применение рентгенологических методик позволяет выявить перелом, дислокацию или деформацию костей образующих туннель, что в контексте клинико-анамнестических данных может объяснить причину сдавления нервного ствола [140, 297, 296, 134, 81, 47]. По данным различных публикаций, к наиболее типичным рентгенологическим находкам при ТН можно отнести: переднюю дислокацию полулунной кости со сдавлением срединного нерва в карпальном канале [296, 214], остеофиты по краю суставных поверхностей со сдавлением локтевого нерва на уровне

кубитального туннеля [297, 81, 285, 110], перелом крючковидной кости со сдавлением локтевого нерва в канале Гюйона [106, 72], вывих головки лучевой кости со сдавлением заднего межкостного нерва на уровне канала супинатора [102, 145], сдавление костными отломками [204, 188, 262, 278, 144] или захват в костную мозоль [256, 89, 81, 247] лучевого нерва на уровне спиральной борозды плечевой кости. Дополнительную информацию рентгенологические методики могут предоставить, выявляя в проекции туннеля рентгеноконтрастные депозиты при подагре [296, 106, 72, 81, 99], пирофосфатной артропатии [193, 72, 148], кальцифицирующем тендините [320, 320, 72, 148], оссифицирующем миозите [81].

Однако общая диагностическая ценность рентгенологических методик недостаточна для включения их в рутинное обследование пациентов с ТН [119, 85, 4]. В исследовании R.R. Bindra и соавт. только в двух случаях (0,4%) из 447 наблюдений синдрома запястного канала результаты рентгенографии кисти повлияли на тактику лечения [85]. А широкое применение рентгеновских методик при посттравматических невропатиях связано, прежде всего, с необходимостью диагностики перелома кости [206, 238, 204, 188].

1.2.5. Магнитно-резонансная томография

Методом выбора для лучевой диагностики заболеваний нервной системы традиционно считается МРТ [214]. К достоинствам метода следует отнести безопасность, отсутствие ионизирующего излучения, высокую тканевую контрастность, независимость результата от оператора, интуитивно более простое восприятие изображения [214, 120]. Отсутствие значительных ограничений по глубине сканирования и возможность визуализации в труднодоступных областях, в том числе под костными структурами являются неоспоримыми преимуществами метода [325]. В литературе представлен большой материал, касающийся потенциала МРТ при исследовании периферической нервной системы, и многими авторами данная методика

признается в качестве "золотого стандарта" лучевой диагностики радикулопатий [214, 120, 249].

Возможность визуализации периферических нервов позволяет применять МРТ и при диагностике ТН [325, 89, 71, 249, 109, 134, 81]. К прямым магнитно-резонансным (МР-) признакам ТН относят изменение толщины и повышение интенсивности сигнала участка нерва в зоне компрессии на Т2 взвешенных изображениях (ВИ), а также локальное накопление нервом контрастного вещества [161, 186, 109, 134, 81, 222, 250, 71, 81, 139, 157, 25]. Избирательное изменение мышц (отек или атрофия) в зоне иннервации косвенно подтверждает поражение нерва и в случаях ограниченной визуализации может быть единственным доступным лучевым признаком невропатии [134, 133, 81, 236, 176].

МРТ позволяет визуально определить или подтвердить уровень сдавления или разрыва нерва, что особенно важно, в случаях, когда, по причине технических или патофизиологических ограничений, КЭФИ не может быть проведено корректно [140]. Однако если уровень поражения точно не определен, проблематично спланировать область МР-сканирования, что, учитывая большую протяженность большинства периферических нервов, сводит на нет данные преимущества методики.

МРТ вносит значительный вклад в диагностический алгоритм ТН, предоставляя информацию о состоянии окружающего нерв туннеля и вероятных причинах сдавления нервного ствола [92, 140, 315]. По мнению большинства авторов МРТ является лидирующей диагностической методикой при обследовании опорно-двигательного аппарата [92, 140, 269], позволяющей одновременно получать высококачественные изображения и костей, и мягкотканных структур [140, 315, 165, 249, 123]. В многочисленных исследованиях подтверждены возможности МРТ в диагностике разнообразных объемных патологических процессов, способных спровоцировать ТН [157, 297, 286, 89, 315, 72, 121, 30], включающих интраневральные и периневральные опухоли, опухолеподобные состояния и

кисты [325, 134, 308, 81], синовиты с расширением полости суставов, околосуставных сумок и сухожильных влагалищ [134, 81, 33], рубцовые изменения [140, 81], костные деформации [157, 81], патологию сосудов [315, 134, 72]. Визуальное сопоставление локального патологического процесса с местом компрессионной деформации контура нерва позволяет оценить роль объемного образования в развитии ТН. При планировании хирургических декомпрессий с ограниченным визуальным контролем МРТ позволяет описать анатомические особенности туннеля, выявить аномалии нерва, его ветвей и окружающих сосудов [140, 315, 81, 30]. Определенную роль в дифференциальной диагностике ТН верхней конечности МРТ играет, исключая сходные по клиническим проявлениям проксимальные варианты поражения (радикулопатии, плечевая плексопатия) [149]. Выявляя точку сохраняющегося сдавления срединного нерва после неудачной хирургической декомпрессии, МРТ позволяет косвенно подтвердить неполное рассечение ретинакулума карпального канала (retinaculum flexorum) [157, 140, 222].

Таким образом, МРТ предоставляя морфологическую информацию о состоянии периферического нерва и окружающего его туннеля, может в значительной мере восполнить недостатки КЭФИ. В исследовании T.T. Miller и соавт. у 51 пациентов с подозрением на ТН и неоднозначными результатами КЭФИ, с помощью МРТ в 93% случаев удалось определить причину сдавления нерва, а в 86% результаты МРТ оказали решающее влияние на тактику лечения [222].

Однако по ряду объективных причин МРТ не находит широкого применения при диагностике ТН [140, 222, 297, 236]. Согласно рекомендациям Американской Академии хирургов-ортопедов по диагностике синдрома запястного канала, МРТ не должна применяться в рутинном обследовании пациента (уровень доказательности V, класс рекомендаций С) [170]. При других ТН применение МРТ, в большинстве случаев, также ограничивается поиском причин сдавления нерва [157, 95, 48,

92, 89, 315, 30]. По данным литературы показаниями для проведения МРТ являются: 1) определение точки сдавления срединного нерва после неудачной хирургической декомпрессии карпального канала, 2) подтверждение объемных образований в туннеле, 3) остро возникшие тяжелые формы ТН [157, 140, 222, 89]. Очевидно, что возможности МРТ значительно шире принятых на сегодняшний день показаний.

Мировой практический опыт применения МРТ при диагностике ТН раскрывает следующие причины, ограничивающие использования метода: 1) высокая стоимость и значительная продолжительность исследования, 2) низкая специфичность признака локального повышения интенсивности сигнала в зоне компрессии нерва на Т2-ВИ, 3) сложность получения продольных изображений нерва, необходимых для выявления точки сдавления, 4) относительно низкий уровень дифференциации нерва, 5) необходимость дополнительных аппаратных средств - РЧ катушек, 6) потеря части информации за счет посрезового сканирования, 7) невозможность проведения динамических исследований для диагностики гипермобильности нерва, 8) артефакты от кровотока в периневральных сосудах, 9) парамагнитные артефакты от металлоконструкций.

При визуализации периферических нервов возможности МРТ оказались значительно ограничены в связи с большой протяженностью исследуемых структур. Высокая стоимость и значительная продолжительность исследования не позволяют изучить нервный ствол на всем протяжении и провести исследование обеих рук. Кроме того, по мнению многих авторов, диагностические критерии фокальных невропатий должны включать исследование всех нервов участвующих в иннервации анатомической зоны [61, 4]. МРТ не соответствует этим требованиям так как затраты при полном обследовании значительно превышают полученный результат [157, 92, 140, 286, 89, 267, 225, 30, 95, 255, 120]. При этом визуализация нерва лишь на ограниченном участке может существенно снижать информативность методики. Так, при дифференциации ТН и заболеваний протекающих с

диффузным утолщением нервных стволов, локальные изменения нерва на уровне туннеля будут идентичны. А в случаях, когда уровень поражения нерва по данным КЭФИ точно не определен, патологически измененный участок может вообще не попасть в зону запланированного МР-сканирования [325, 74, 174, 142]. Необходимость МР-обследования нескольких областей у многих пациентов обусловлена сопутствующей ортопедической патологией и частым сочетанием ТН верхних конечностей с шейной радикулопатией [140, 61, 141, 106, 3]. Высокая стоимость МРТ ограничивает возможность динамического наблюдения, не позволяя морфологически оценить эффективность проводимого лечения [113].

Несмотря на высокую чувствительность симптома локальной гиперинтенсивности сигнала от нерва в зоне компрессии на Т2-ВИ, достигающей при ТН 90-97%, специфичность обычно не превышает 33-38% [157, 222, 160, 30, 134, 71, 186]. Низкий уровень специфичности обусловлен, во-первых, значительной распространенностью признака среди здоровых лиц, которая, например, при обследовании кубитальной области может достигать 50-60% [222, 71], во-вторых, способностью симптома длительно сохраняться после нормализации функции нерва [109, 81]. В большинстве доступных работ, оценивающих взаимосвязь между интенсивностью сигнала от нерва и степенью тяжести невропатии, выявить корреляцию не удалось или ее уровень оказался крайне низким [157, 120, 286]. Отек и атрофия мышц, трактуемые при МРТ как проявления денервации, также неспецифичны и могут встречаться при посттравматических и воспалительных изменениях [133].

Определение участка наибольшего сжатия при продольном МР-сканировании нерва важный признак ТН с уровнем чувствительности при исследовании срединного нерва 96% [120, 157]. Однако, учитывая косой ход нервов, получить качественные продольные изображения при МРТ достаточно сложно [255, 133, 30, 19]. А при исследовании мелких ветвей,

например, заднего межкостного нерва, определить уровень сдавления по данным МРТ не удается [285].

По данным многих авторов визуализировать нерв при МРТ достаточно сложно [30, 125]. Исследование требует дополнительных аппаратных средств (РЧ катушек) и специальной укладки конечности [81, 47]. Кроме того, интерпретация полученных изображений возможна только при достаточном уровне подготовки врача проводящего МР-исследование [47]. При небольшом количестве перинервальной жировой клетчатки значительно затруднена дифференциация нерва от окружающих, близких по интенсивности сигнала мышц [255, 133, 30]. А оценка внутренней структуры небольших нервов чаще всего недоступна [328, 30]. Перинервальные кровоизлияния при подострой травме и рубцы при хронических изменениях могут имитировать частичную целостность плохо дифференцируемого нерва [109]. При посттравматических невропатиях после переломов костей верхней конечности проведение МРТ может быть ограничено наличием металлоконструкций, а дифференциация нерва снижена за счет возникающих парамагнитных артефактов. Уровень дифференцировки нервных стволов при МРТ может снижаться за счет артефактов от кровотока в проходящих рядом сосудах [30].

При МРТ нельзя визуально подтвердить или исключить гипермобильность локтевого нерва на уровне медиального надмыщелка плечевой кости, что важно при выборе варианта хирургической декомпрессии [222]. Потеря части информации за счет посрезового сканирования снижает чувствительность методики при исследовании мелких ветвей нервов, диаметр которых не превышает 1-2мм [285].

Таким образом, на данном этапе технологического развития МРТ является лидирующим лучевым методом при исследовании перинервального пространства и выявлении локальных причин сдавления нервного ствола. Однако возможности визуализации периферических нервов конечностей ограничены, прежде всего, высокой стоимостью и большой

продолжительностью исследования, что делает применение МРТ при диагностике невропатий непрактичным.

1.2.6. Ультразвуковое исследование

В последние время для лучевой диагностики ТН все чаще применяется УЗИ. Появление широкополосных мультичастотных линейных датчиков и новейшие разработки программного обеспечения существенно расширили возможности метода. В ряде фундаментальных исследований подтверждена принципиальная возможность УЗ-визуализации [135, 256], сформирован надежный УЗ-паттерн [143, 279], описана УЗ-топографическая анатомия [256, 153, 90, 137, 223], а также проведена оценка точности УЗ-измерений различных периферических нервов [279, 92]. По данным литературы современная УЗ-аппаратура обеспечивает уверенную визуализацию основных нервных стволов верхней конечности, включая срединный, локтевой, лучевой нервы и их крупные ветви [140, 306, 256, 166, 246, 328, 103, 292, 237, 288, 113, 134, 149, 244, 247, 87, 99, 167]. При обследовании пациентов с невропатиями УЗИ позволяет дополнить КЭФИ, предоставляя морфологическую информацию о состоянии нерва и окружающего туннеля [287, 172]. В сравнении с другими инструментальными методами УЗИ располагает рядом преимуществ, обеспечивающих его комплементарное включение в общий диагностический алгоритм.

К достоинствам УЗИ следует отнести безопасность и отсутствие ионизирующего излучения в сравнении с рентгенологическими методиками [180], безболезненность, неинвазивность и лучшее восприятие пациентом в сравнении с ЭФИ [83, 237, 172]. Относительно невысокая стоимость УЗИ определяет возможность проведения многократных исследований с визуальным контролем эффективности лечения [113]. Отсутствие парамагнитных артефактов позволяет обследовать пациентов, у которых проведение МРТ невозможно [30].

Обладая сопоставимым с МРТ уровнем дифференцировки мягких тканей, УЗИ проще и быстрее в исполнении, что позволяет за одно исследование осмотреть основные пары нервов конечностей на всем протяжении [140, 224, 246, 83, 237, 172]. Возможность легко изменять плоскость сканирования позволяет при УЗИ, в отличие от МРТ, получать качественные продольные изображения нерва вне зависимости от его курса и пространственной ориентации, а также в местах естественных или патологических изгибов ствола [255]. Это важно для выявления точки сжатия нерва и сопоставления ее положения с вероятным фактором компрессии.

По данным литературы контрастность изображений и уровень пространственного разрешения, получаемые при УЗИ, значительно выше, чем при МРТ [214, 255, 246, 328]. Осевое разрешение современных высокочастотных УЗ-датчиков (12-17мГц) достигает 250 микрон [255, 172, 187]. Это позволяет, используя 5-10-кратное увеличение, дифференцировать внутреннюю структуру нерва, включая пучки нервных волокон и эпиневральные оболочки [174, 205], а также получать изображение мелких веточек диаметром до 1мм [246]. При использовании стандартной частоты 15мГц наибольшего разрешения удается достигнуть на глубине 0,5-2,0см от поверхности кожи, что достаточно для анализа большинства нервов верхней конечности [172]. Принято считать, что УЗ-анализ ствола нерва возможен, при его диаметре от 2мм и более [83], однако применение датчиков с частотой 22 мГц в недавнем исследовании F. Liu и соавт. позволило оценить внутреннюю структуру икроножного нерва, диаметр которого не превышает 1-2мм [205]. Возможность анализа анатомических структур размерами менее 1мм обеспечивается не только высоким разрешением, но еще и непрерывностью формирующегося при УЗИ изображения, не имеющего, в отличие от посрезового МР-сканирования, пропусков [328, 246]. Уровень дифференцировки нервных стволов при УЗИ не изменяется за счет артефактов от кровотока в проходящих рядом сосудах, что позволяет исследовать участки нервов, оценка которых при МРТ затруднена [30].

Кроме того, ультразвуковая визуализация нервных стволов конечностей не сопряжена с физическими ограничениями от костей или газа, делающими невозможным подобное исследование в других анатомических областях.

Важным преимуществом УЗИ является возможность проведения динамических исследований с оценкой в режиме реального времени изменяющегося положения нерва и окружающих его анатомических структур [83, 244, 214, 246, 323, 266, 103, 216, 178]. Так подтверждение или исключение гипермобильности локтевого нерва на уровне медиального надмыщелка плечевой кости, влияет на выбор варианта хирургической декомпрессии [240, 222, 148, 315, 319, 93, 110, 293]. А влияние на нерв некоторых повреждающих факторов может быть выявлено только в момент активного движения. По данным различных авторов при динамическом исследовании, могут быть определены: 1) вывих локтевого нерва из позадинадмыщелкового желоба; 2) проникновение в туннель брюшка аномальной мышцы; 3) тракция нерва через спайки с активными сухожилиями; 4) фиксация, уменьшение продольного скольжения и изменение поперечной подвижности нерва в туннеле; 5) увеличение степени сжатия нерва во время стресс-теста; 6) увеличение диастаза при полном анатомическом перерыве нерва [83, 222, 286, 323, 295, 319, 112, 318, 163, 209, 101, 54, 34, 17, 16].

Использование допплеровских методик позволяет быстро и неинвазивно оценить васкуляризацию нерва и кровоток в периневральных сосудах [140, 216]. Реактивное воспаление, возникающее транзиторно на всех стадиях ТН, проявляется при УЗИ повышением васкуляризации нерва [288, 157, 255, 256, 197, 142]. По данным исследования A. Mallouhi и соавт. шанс постановки правильного диагноза синдрома запястного канала при наличии в группе симптомов признака интраневральной гиперваскуляризации возрастает в 16 раз. Диагностическая точность данного признака составила 95% и была наибольшей в группе. При этом в 4,1% случаев гиперваскуляризация была единственным УЗ-проявлением ТН [213, 266].

Методики цветового и энергетического допплеровского картирования позволяют диагностировать тромбоз персистирующей срединной артерии, который, по данным различных авторов, может выступать в качестве самостоятельного фактора вызывающего острый синдром запястного канала [270, 222, 296, 89, 83, 48, 288, 172, 99] и тромбоз локтевой артерии в случаях острого сдавления локтевого нерва в канале Гюйона [222, 315, 106, 113, 114, 249, 227, 194, 243, 72, 302]. Оценка кровотока необходима при анализе сосудов и сосудистых образований, вызывающих сдавление нерва в туннеле. В литературных источниках упоминаются следующие состояния: истинные и ложные аневризмы локтевой артерии, варикозно расширенные вены при сдавлении локтевого нерва в канале Гюйона [302 222, 315, 106, 127, 114, 227, 214, 150, 194, 243, 72]; сосудистая аркада Генри [222, 201, 253, 115, 82, 281, 197, 113, 293, 207, 133, 81, 148, 121] и брахиоцефальная артериовенозная фистула со сдавлением заднего межкостного нерва [148]; сосудистые мальформации, гемангиомы различных локализаций [214, 256, 185, 193, 227, 269, 194, 89, 110].

Высокий уровень визуализации периферических нервов позволяет применять УЗИ при диагностике периферических невропатий с возможностью локализации и дифференциации компрессионных, травматических и опухолевых поражений [246, 103, 172, 197, 287, 317, 134, 322, 267, 287]. В настоящее время накоплен достаточный объем клинического материала, подтверждающий ценность УЗИ при ведение пациентов с ТН верхней конечности включая: карпальный туннельный синдром [99, 170, 272, 140, 228, 166, 246, 286, 248, 266, 124, 216, 197, 104, 225, 51], кубитальный туннельный синдром [306, 261, 280, 241, 303, 177, 89, 103, 237, 197, 326, 149], синдром канала Гюйона [315, 302, 316, 257], супинаторный синдром [87, 126, 197, 131, 218, 210], сдавление лучевого нерва в области спиральной борозды [43, 39, 103, 101, 89, 167, 197, 267, 107].

К прямым УЗ-критериям ТН принято относить: 1) неравномерное утолщение, снижение эхогенности, потерю волокнистой дифференцировки и

гиперваскуляризацию нерва в проекции туннеля и на смежных участках, 2) изменение формы нервного ствола на участке максимального сжатия, 3) отсутствие структурных изменения в удаленных от туннеля сегментах нерва. К косвенным УЗ-признакам ТН относят: 1) смещение ретинакулума туннеля, 2) локальные патологические процессы и анатомические аномалии, изменяющие объемные соотношения в туннеле, 3) отек или атрофию мышц в зоне двигательной иннервации ущемленного нерва [113, 231, 84, 217, 92, 42, 222, 225, 83, 71, 237].

По данным литературы патофизиологические механизмы, приводящие к локальным изменениям нерва общие для всех ТН. К ним принято относить: ишемический отек нерва, реактивный неврит, интраневральные дегенеративно-дистрофические изменения, аксональную дегенерацию и формирование невромы [83, 38, 118, 256, 74, 237, 288, 161, 197, 142, 209, 239, 139]. Данные процессы проявляются при УЗИ не только утолщением нерва, но и изменением его внутренней структуры, что связано, прежде всего, с отеком эпиневральных оболочек и снижением их эхографической плотности до уровня пучков нервных волокон [172, 177, 210, 113, 215, 293]. Изменение нерва в точке максимального сжатия на продольных изображениях проявляется локальным уменьшением толщины и деформацией контура. На поперечных срезах изменение формы эластичного нерва в большей степени зависит от конфигурации окружающего туннеля. При этом нерв может уплощаться, концентрически сужаться или принимать неправильные очертания [83, 172, 177, 210, 197]. Отсутствие структурных изменения в удаленных от туннеля сегментах отличает ТН от ряда полиневропатий протекающих с увеличением нервных стволов, для которых характерно утолщение нерва на всем протяжении [30, 142, 245, 149, 291, 142, 174, 14]. При этих состояниях диффузно утолщенный нерв может быть вторично ущемлен в узком туннеле со всеми визуальными проявлениями локальной компрессии. В таких случаях ограниченное исследование нерва только на уровне туннеля без оценки удаленных сегментов может привести к

диагностическим ошибкам [151, 174]. Возможность сравнения характеристик пораженного участка нерва с неизмененными гомолатеральными и контрлатеральными сегментами является важным преимуществом УЗИ перед другими методами лучевой диагностики [210].

Роль различных УЗ-симптомов в диагностике ТН неравноценна. По результатам большинства исследований наиболее эффективным признаком является увеличение поперечных размеров нерва в области туннеля и на смежных участках [288, 172, 317, 177, 83]. Другие симптомы, такие как деформация, снижение эхогенности и степени волокнистой дифференцировки нерва являются дополнительными и без признака локального утолщения не имеют значения, так как могут встречаться и у здоровых лиц [244]. Единственный признак, имеющий самостоятельное значение и обладающий при этом достаточным уровнем чувствительности (до 95%) и приемлемым уровнем специфичности (до 71%) это локальная гиперваскуляризация нерва. Однако данный симптом не отражает впрямую сдавление нерва и реализуется только в случаях присоединяющегося воспаления [213, 266, 256].

На сегодняшний день из имеющегося набора УЗ-признаков ТН только три могут быть оценены количественно: 1) утолщение нерва (измерение ППС), 2) деформация нерва (расчет индекса уплощения), 3) смещение ретинакулума (измерение расстояния от максимально удаленной точки ретинакулума до касательной линии к местам его костного крепления).

Однако расчет индекса уплощения в настоящее время применяется только для диагностики сдавления срединного нерва на запястье, где конфигурация туннеля предрасполагает именно к такой форме деформации нервного ствола. Уплощение проявляется увеличением соотношения ширины нерва к его толщине с общепринятым максимально допустимым значением 3,3. Чувствительность данного признака при УЗИ оценивается в пределах 37-65%, а диагностическая точность не превышает 63% [213, 266, 228]. Оценка степени смещения ретинакулума также применяется только при

исследовании карпального канала, где в отличие от других туннелей, данный показатель хорошо изучен и, кроме того, толщина удерживающей связки достаточно велика для её уверенной УЗ-визуализации. Чувствительность данного признака у пациентов с подтвержденным синдромом запястного канала оценивается в пределах 40-81%, специфичность достигает 68%, а диагностическая точность не превышает 65% [213, 266, 228]. Одной из возможных причин невысокой диагностической эффективности признаков уплощения нерва и смещения ретинакулума (retinaculum flexorum) при УЗИ является плохая дифференциация данных анатомических структур в дистальной части карпального канала у большинства пациентов. Это связано, прежде всего, с большим числом артефактов возникающих из-за неплотного прилегания стандартного линейного датчика к ладонной поверхности запястья на границе тенара и гипотенара [140, 266, 171, 292]. В исследованиях T.T. Miller и соавт. и A. Mallouhi и соавт. полный набор УЗ-признаков ТН, включая локальное утолщение, деформацию, изменение эхоструктуры и гиперваскуляризацию нерва, а также ладонное смещение ретинакулума (retinaculum flexorum) встречалось не более чем в 7-32% случаев установленного по данным КЭФИ синдрома запястного канала [222, 213]. В большинстве случаев определяли различные комбинации локального утолщения нерва с другими проявлениями ТН.

Таким образом, на сегодняшний день наиболее ценным УЗ-признаком ТН различных локализаций является увеличение ППС ущемленного нерва в проекции туннеля и в смежных сегментах [83, 288, 149, 74, 237, 172, 161, 48, 256, 142, 317, 177]. К преимуществам данного показателя следует отнести: 1) возможность количественной оценки, 2) независимость от формы туннеля, в отличие от линейных размеров поперечного сечения (толщины и ширины), 3) высокий уровень диагностической эффективности, 4) высокий уровень воспроизводимости измерений [216, 139, 317, 83, 149, 140, 228]. По результатам многих исследований признак увеличения ППС нерва при УЗИ обладает высоким уровнем диагностической эффективности [140, 288, 172,

317, 177]. Так, при синдроме запястного канала чувствительность УЗ-оценки ППС срединного нерва достигает 78-98%, специфичность превышает 87-95%, а диагностическая точность оценивается в пределах 79-97% [216, 124, 272, 128, 129, 313, 195, 292, 266, 224, 136, 228, 99, 42]. При сдавлении локтевого нерва в области локтя чувствительность измерения ППС, по данным различных авторов, составляет 71-93%, а специфичность достигает 73-98% [241, 303, 306, 260, 288, 113, 172, 317]. Диагностическая эффективность УЗ-оценки утолщения нерва при других ТН верхней конечности на сегодняшний день изучена недостаточно, в доступной литературе встречаются единичные работы [210, 126, 87].

По данным литературы УЗИ может корректировать ложно отрицательные результаты ЭФИ на ранних стадиях ТН. Теоретическим обоснованием ложно отрицательных результатов ЭФИ при легкой степени ТН (стадия ирритации нерва) является то, что методика способна выявлять не собственно компрессию нерва, а ее функциональный результат, проявляющийся нарушением проведения на поврежденном участке. При этом последовательность развития патофизиологического процесса, когда сдавление и развивающийся отек нерва предшествуют нарушению его функции, позволяет предположить, что морфологические признаки, определяемые при УЗИ, могут быть выявлены раньше, чем изменения регистрируемые при ЭФИ. В нескольких работах было показано, что сроки возникновения морфологических и функциональных отклонений не совпадают. Как в случаях развития туннельного конфликта, так и при его разрешении изменение функции аксонов следует за модификацией стромы нерва [209, 112, 266, 293, 215, 118]. В исследовании C.K. Choi и соавт. восстановление функции происходило в среднем через 3 недели после морфологической нормализации нерва определяемой при УЗИ [112]. По данным литературы при карпальном и кубитальном туннельных синдромах до 30,5% ложно отрицательных результатов ЭФИ могут быть скорректированы при УЗИ [248, 228, 89, 224, 266, 292, 288].

Сочетание результатов ЭФИ и УЗИ приводит к общему увеличению эффективности диагностики ТН и, прежде всего к росту чувствительности [224, 157, 288, 89, 248, 177]. Так в исследовании M. Mondelli и соавт. у 85 пациентов с клинически подтвержденным синдромом запястного канала чувствительность электрофизиологического и ультразвукового исследований составила 67,1% и 64,7%, соответственно. Однако при совместном использовании данных обоих методов чувствительность диагностики повысилась до 76,5% [228]. В подобном исследовании у 275 пациентов K. Nakamichi и S. Tachibana получили рост чувствительности с 67% до 84% при незначительном снижении специфичности с 97% до 94% [234]. Аналогично R. Beekman и соавт. при обследовании 102 пациентов с клинически подтвержденным кубитальным туннельным синдромом при добавлении к данным ЭФИ результатов УЗИ получили рост чувствительности с 78% до 98% [80].

В многочисленных исследованиях подтверждены возможности УЗИ в диагностике различных объемных патологических процессов и анатомических аномалий, способствующих возникновению ТН [99, 140, 228, 166, 248, 266, 216, 277, 74, 292, 288, 172, 113, 317], включающих: интраневральные и периневральные опухоли, опухолеподобные состояния и кисты [140, 299, 224, 277, 74, 292, 99, 248, 172, 83, 220, 30, 46], синовиты с расширением полости суставов, околосуставных сумок и сухожильных влагалищ [224, 292,140, 299, 277, 74, 33], рубцовые изменения [113, 267, 256, 30], костные деформации [247, 214, 113, 48, 288, 256], гематомы [30, 48, 256, 113, 316, 267], отек [222, 113] абсцесс, нагноение [30, 99], патологию и аномалии сосудов [270, 222, 83, 48, 288, 172, 99, 113, 227, 194, 214, 197, 207, 256], аномальные мышцы в туннеле [277, 74, 302, 83]. УЗИ позволяет визуально сопоставить локальный патологический процесс с местом компрессионной деформации контура нерва, что важно для оценки роли объемного образования в развитии ТН [7]. При этом получить срез с

продольным изображением сдавленного образованием нерва при УЗИ технически проще, чем при МРТ.

При планировании вида операции, ширины оперативного доступа и объема оперативного вмешательства УЗИ в дополнение к данным КЭФИ, может предоставить необходимые данные о морфологических изменениях нервного ствола и окружающего его туннеля [232, 148, 172]. Предварительное выявление аномалий нерва, его ветвей и окружающих сосудов позволяет избежать ятрогенных ошибок особенно при выполнении операций с ограниченным визуальным контролем [140, 214, 48, 122].

По данным литературы УЗИ позволяет определить причины неудачных исходов хирургического лечения ТН включая: неполное рассечение связки ретинакулума карпального канала (retinaculum flexorum), пропущенные объемные образования, неустранение всех точек сдавления нерва при многоуровневом поражении, избыточное периневральное рубцевание, ятрогенное повреждения нерва, его ветвей или соседних нервов и сосудов [244, 277, 182, 74, 288, 172, 113, 43, 167, 267, 231, 5].

При посттравматических невропатиях с признаками полного аксонального поражения с помощью УЗИ можно исключить или подтвердить полный анатомический перерыв нерва, требующий выполнения немедленной реконструктивной операции. А в послеоперационном периоде УЗИ позволяет оценить состоятельность шва нерва и при необходимости принять своевременное решение о ревизии [140, 325, 59, 43, 42, 30, 74, 83, 263, 207, 167, 288, 172, 219, 204, 244, 327, 149, 1].

Таким образом, УЗИ предоставляя морфологическую информацию о состоянии периферического нерва и окружающего его туннеля, может значительно дополнить КЭФИ [248, 180, 224]. Вклад УЗИ при диагностике поражений периферических нервов был изучен в нескольких работах. В исследовании H. Kele и соавт. при УЗ-оценке 110 запястий с подтвержденным по данным КЭФИ синдромом запястного канала в 35% случаев были выявлены морфологические изменения, изменившие тактику

лечения ТН [171]. В исследовании L. Padua и соавт. у 130 пациентов с клинико-электрофизиологическим подозрением на компрессионное или травматическое поражение периферических нервов применение УЗИ в 42,3% случаев дополнило или изменило диагноз КЭФИ и существенно повлияло на тактику лечения, в 40% - подтвердило диагноз КЭФИ, в 17,7% - не подтвердило диагноз КЭФИ, и ни в одном случае не привело к постановке неправильного диагноза [247]. В исследовании J. Zhu и соавт. у 220 пациентов тяжесть повреждение нерва по данным УЗ-сканирования была классифицирована на 7 типов с последующей интраоперационной верификацией. В 93,2% случаев наблюдали полное совпадение результата, в 6,8% - при УЗИ не удалось визуализировать патологические изменения или результаты были ошибочны [327].

Согласно практическим рекомендациям Американской Ассоциации нервномышечной и электродиагностической медицины: 1) ультразвуковое измерение ППС срединного нерва на запястье является точным, надежным тестом при диагностике карпального туннельного синдрома (класс доказательности I и II, уровень рекомендаций А), 2) УЗИ дополняет ЭФИ морфологической информацией, выявляя структурные изменения нерва и окружающего туннеля, 3) УЗИ нужно использовать для скрининга структурных аномалий у пациентов с карпальным туннельным синдромом (класс доказательности II, уровень рекомендаций В) [99]. По мнению ряда исследователей УЗИ может быть рекомендовано во всех случаях посттравматических невропатий, а при диагностированном по данным ЭФИ полном аксональном поражении выполнение УЗИ должно быть обязательным [244, 247].

Анализ литературы раскрывает следующие ограничения использования УЗИ при диагностике ТН верхней конечности: 1) невозможность визуализации нервов в местах их прохождения под костными структурами, что ограничивает применение методики для изучения плечевого сплетения и формирующих его передних ветвей спинномозговых нервов [325, 247], 2)

снижение качества визуализации нерва при отеке мягких тканей в зоне исследования [247, 266, 171], 3) ограниченный обзор в сравнении с МРТ и, как следствие, неполная оценка крупных или глубоко расположенных образований [113, 246], 4) сложность интерпретации УЗ-изображений для клиницистов (неврологов и нейрохирургов) в сравнении с МРТ [247], 5) ограничения по глубине сканирования [113], 6) артефакты при неплотном прилегании УЗ-датчика в дистальной части карпального канала и на уровне надмыщелково-локтевого желоба [113, 140, 266, 171], 7) зависимость результата от оператора [246, 210].

Таким образом, в настоящее время в литературе представлен достаточно большой материал по применению УЗИ при диагностике ТН. Тем не менее, анализ публикаций по этой проблеме позволил нам прийти к заключению о том, что некоторые вопросы до настоящего времени остаются неясными. К ним следует отнести: 1) отсутствие доступных работ по сопоставлению результатов измерений поперечных размеров нерва in vivo методами прямой и ультразвуковой визуализации; 2) противоречивость данных о характере утолщения различных сегментов нерва при ТН; 3) отсутствие единого мнения об уровне корреляционной взаимосвязи между ППС нерва и степенью его поражения при ТН; 4) большое расхождение пороговых значений ППС нерва и показателей их эффективности при диагностике ТН; 5) отсутствие доступных работ по количественной УЗ-оценке взаимоотношения нерва и объемного образования; 6) недостаточное количество работ по оценке эффективности УЗИ при диагностике полного анатомического перерыва нерва; 7) отсутствие четко сформулированных показаний к проведению УЗИ при ТН верхней конечности.

При обосновании УЗ-методики визуализации периферических нервов большинство работ по сопоставлению результатов измерений нерва методами прямой и ультразвуковой визуализации проводили или in vitro [143, 279] или на трупах [135, 256]. При этом сначала с помощью УЗИ оценивали нативные образцы нервов. На следующем этапе для получения

качественных срезов исследуемый материал подвергали обработке с фиксацией в формалине при гистологическом исследовании или заморозке при криомикротомии, что не исключает возможности изменения размеров нерва. В единичных на сегодняшний день исследованиях in vivo основное внимание уделяется подтверждению точности УЗ-оценки продольных размеров нерва [44, 59], необходимых для описания полного разрыва и недостаточных при диагностике невропатий, проявляющихся утолщением нервного ствола [30]. Исследования по сопоставлению результатов измерений поперечных размеров нерва in vivo методами прямой и ультразвуковой визуализации в доступной литературе не обнаружены. Работы по сопоставлению измерений нерва при УЗИ и МРТ проводили неоднократно [92, 325, 42], однако, в связи с постоянным обновлением и усовершенствованием технического и программного обеспечения эти данные требуют периодического уточнения.

В большинстве работ по УЗ-семиотике ТН описаны локальные изменения нервного ствола в области компрессии, и нет данных о его состоянии в удаленных сегментах [280, 241, 306, 240, 159, 294, 303, 71, 80, 129, 313, 224, 105, 195, 190, 171, 225]. При анализе локальных изменений основное внимание уделяется утолщению нерва перед входом в туннель и его деформации на участке сжатия. Состояние сегмента нерва сразу дистальнее точки компрессии в большинстве исследований не оценивается, хотя есть сообщения о возможном утолщении и этого сегмента [255, 323, 83, 172, 89, 289, 266]. Нет единого мнения о том, как изменяются поперечные размеры нерва в зоне максимального сжатия [157], описаны как уменьшение [83, 48, 42, 224, 43, 2], так и увеличение толщины и ППС ствола на этом уровне [9, 280, 326]. Таким образом, представленные в литературе данные по УЗ-семиотике ТН и характере утолщения нерва разнятся и требуют уточнения.

Нет единого мнения об уровне корреляционной взаимосвязи между ППС нерва и степенью его поражения при ТН. В описаниях исследований

срединного и локтевого нервов встречаются указания как на высокий [280, 294, 306, 248, 266, 299, 166, 105, 326, 250, 216, 288, 149, 104], так и на низкий уровень корреляции или ее отсутствие [303, 317, 140, 228, 190, 277, 237, 220, 80, 225]. Данные о взаимосвязи ППС лучевого и заднего межкостного нервов со степенью тяжести невропатии в доступных литературных источниках не встречаются.

В публикациях наблюдается большое расхождение пороговых значений ППС нерва и показателей их эффективности при диагностике ТН. Так, при анализе различных работ по УЗ-диагностике синдрома запястного канала, пороговое значение ППС нерва варьировало в диапазоне от 7 до 15мм^2 [228, 166, 266, 124, 216, 277, 151, 292, 224], кубитального туннельного синдрома - от 7,5 до 10мм^2 [177, 317, 71]. К причинам значительных расхождений результатов исследований следует отнести: 1) отсутствие стандартных уровней измерения нерва, 2) различия в методике измерения ППС, 3) различия и методологические ошибки в дизайне исследований, 4) различия между популяционными характеристиками выборки. Так в рекомендациях Американской Ассоциации нервномышечной и электродиагностической медицины по диагностике карпального туннельного синдрома после анализа 45 различных исследований указаны следующие общие методологические ошибки дизайна: 1) осведомленность УЗ-оператора о результатах референтных методик, 2) формирование контрольной группы только из здоровых добровольцев, что приводит к завышению диагностической точности теста, 3) использование в качестве "золотого стандарта" только клинического или только электрофизиологического исследований, что не исключает ошибочного включения в опытную группу ложноположительных, а в контрольную группу ложноотрицательных результатов. Только четыре из 45 исследований соответствовали стандарту и были отнесены к классу доказательности I [99]. Таким образом, актуально определение пороговых значений ППС нерва для диагностики различных ТН верхней конечности.

Одной из ключевых задач, решаемых при лучевом обследовании пациентов с вторичными ТН, является описание локальных патологических процессов, провоцирующих возникновение туннельного конфликта [83, 324, 277, 172, 237, 30, 136, 266, 165]. При этом роль опухоли в развитии невропатии может быть определена при анализе ее взаимоотношения со стволом нерва [256, 135, 83, 7]. Однако в доступной литературе практически отсутствуют работы, подтверждающие возможности УЗИ в количественной оценке взаимоотношения нерва и объемного образования.

У пациентов с травмой верхних конечностей, в ситуациях, когда при ЭФИ определяется полное нарушение проведения по нерву, возникает необходимость дифференцировать тотальный анатомический перерыв нервного ствола от поражения, протекающего с признаками полной утраты аксонов на фоне сохранного эпиневрия [172, 134, 81, 325, 74, 167, 204, 188, 244, 262]. Однако в литературе доступны только единичные работы, посвященные оценке эффективности УЗИ при диагностике полного анатомического перерыва нерва [98, 44, 59, 1].

В доступных литературных источниках нет четко сформулированных показаний для УЗИ нервов при различных ТН верхней конечности, а имеющиеся отдельные рекомендации нельзя назвать полными [244, 222, 99].

Таким образом, анализ литературы выявил целый ряд нерешенных вопросов, касающихся оценки возможностей УЗИ при диагностике ТН верхней конечности, что и послужило предметом нашего исследования.

ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛА И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Общая характеристика обследованных больных

Исследование состояло из двух частей с различными группами пациентов. В первой части работы оценили возможности эхографии при исследовании периферических нервов. Во второй части провели УЗ-оценку изменения поперечных размеров срединного, локтевого и лучевого нервов при ТН.

2.1.1. Оценка возможностей эхографии при исследовании периферических нервов

Для оценки возможностей эхографии при исследовании периферических нервов сформировали три группы пациентов: 1) оценка точности УЗ-измерений периферических нервов; 2) УЗ-оценка взаимоотношения объемного образования со стволом нерва; 3) УЗ-оценка целостности нерва.

У 66 пациентов (мужчин – 30 (45%), женщин – 36 (55%),) в возрасте от 10 до 85 лет (средний возраст 47,8±1,8) оценили точность УЗ-измерений периферических нервов. Для этого выполнили УЗИ 71 периферического нерва с оценкой максимального и минимального диаметров поперечного сечения на различных, предварительно регламентированных уровнях (общее число измерений 268). Результаты УЗ-измерений сопоставили с данными полученными интраоперационно и при МРТ. Для оценки воспроизводимости УЗ-измерений сравнили результаты, полученные двумя независимыми операторами. В качестве одного наблюдения рассматривали измерение одного нерва на одном уровне. За счет нескольких уровней измерения одного нерва, общее число наблюдений превысило общее число обследованных пациентов (табл. 1).

Таблица 1

Оценка точности УЗ-измерений периферических нервов

№	Сопоставление измерений нервов	Пациентов	Измерений
1	выполненных при УЗИ и интраоперационно	15	30
2	выполненных при УЗИ и МРТ	20	144
3	выполненных двумя независимыми операторами на одной и той же серии УЗ-изображений	31	94
	Итого:	66	268

Для определения возможностей УЗИ по оценке взаимоотношения объемного образования со стволом нерва обследовали 40 пациентов (мужчин – 17 (43%), женщин – 23 (58%)) в возрасте от 10 до 70 лет (средний возраст 46,5±1,84). Критерий включения в исследование - выявление при УЗИ объемного образования различной степени удаленности от нервных стволов конечности. В качестве одного наблюдения рассматривали измерение расстояния от образования к нервному стволу. За счет вариантов с локализацией образования в группе нервных стволов, общее число наблюдений превысило общее число обследованных пациентов. Таким образом, обследовали 58 периферических нервов.

Для определения возможностей УЗИ по оценке анатомической целостности нерва обследовали 44 пациента (мужчин – 31 (70%), женщин – 13 (30%)) в возрасте от 12 до 73 лет (средний возраст 35,5±1,67) с клиническими проявлениями посттравматической невропатии и электрофизиологическими признаками аксонального поражения. В качестве одного наблюдения рассматривали оценку одного нерва у одного пациента. За счет вариантов с поражением нескольких нервных стволов конечности, общее число наблюдений превысило общее число обследованных пациентов. Всего обследовали 60 периферических нервов.

2.1.2. Ультразвуковая оценка изменения поперечных размеров нервов верхней конечности при ТН

УЗ-оценку изменений ППС нервов верхней конечности при ТН проводили в 5 группах пациентов: 1) сдавление срединного нерва в канале запястья (ТН1), 2) сдавление локтевого нерва на любом из уровней в пределах области локтя (ТН2), 3) сдавление лучевого нерва в области плеча (ТН3), 4) сдавление глубокой (двигательной) ветви лучевого нерва (ТН4), 5) сдавление локтевого нерва в канале Гюйона (ТН5).

Критерии отбора пациентов в основную группу включали наличие признаков поражения нерва в туннеле по данным клинического и электрофизиологического исследований. Шанс включения в группу здорового пациента был минимизирован за счет сочетания результатов двух исследований, когда отрицательный ответ хотя бы в одном из них являлся поводом для исключения. Клинико-электрофизиологические критерии включения в основную группу исследования представлены в Таблице 2.

Критерии отбора пациентов в контрольную группу были едиными для всех ТН и включали отсутствие признаков поражения нерва в исследуемом туннеле по данным клинического, анамнестического и электрофизиологического исследований. Шанс включения в группу больного пациента был минимизирован за счет сочетания результатов трех исследований, когда положительный ответ хотя бы в одном из них являлся поводом для исключения.

Согласно рекомендациям Американской Ассоциации нервномышечной и электродиагностической медицины [99] при исследовании ТН срединного и локтевого нервов использовали смешанные контрольные группы, в которые включили не только нервы здоровых добровольцев, но и асимптоматичные по данным КЭФИ нервы пациентов с ортопедической патологией и ТН других локализаций. При ТН лучевого нерва в контрольную группу включили асимптоматичные по данным КЭФИ контрлатеральные нервы.

Таблица 2

Клинико-электрофизиологические критерии ТН

Поражение нерва	Критерии
ТН1 *(сдавление срединного нерва в канале запястья)*	
Легкое	Чувствительные нарушения в зоне иннервации n.medianus СРВ[1] сенсорная в сегменте запястного канала <50м/с
Среднее	Латентность М-ответа >4,2 мс
Выраженное	Выпадение сенсорного ответа
Резко выраженное	Выпадение М-ответа
ТН2 *(сдавление локтевого нерва в кубитальной области)*	
Легкое	Чувствительные нарушения в зоне иннервации n.ulnarus СРВ сенсорная <50 м/с и (или) СРВ моторная <51 м/с
Нейропраксия	Блок проведения[2] на уровне туннеля
Умеренное аксональное	Амплитуда М-ответа при стимуляции дистальнее туннеля <4 мВ
Выраженное аксональное	Амплитуда М-ответа при стимуляции дистальнее туннеля <1 мВ
ТН3 *(сдавление лучевого нерва в области плеча)*	
Преимущественно нейропраксия	Нарушения в зоне иннервации r.superficialis n.radialis. Парез мышц разгибателей от m.brachioradialis и дистальнее. СРВ сенсорнная <56 м/с и (или) СРВ моторная <50 м/с и (или) Латентность М-ответа >2,0мс
Умеренное аксональное	Амплитуда М-ответа при стимуляции дистальнее туннеля <3мВ
Выраженное аксональное	Амплитуда М-ответа при стимуляции дистальнее туннеля <1мВ
Полное аксональное	Выпадение М-ответа
ТН4 *(сдавление глубокой (двигательной) ветви лучевого нерва)*	
Преимущественно нейропраксия	Нет нарушений чувствительности, парез мышц разгибателей дистальнее m.brachioradialis и m.ext.carp.radialis. Нормальная СРВ по n.radialis superficialis и ветви к m.brachioradialis. СРВ моторная <50 м/с и (или) Латентность М-ответа >2,0 мс
Умеренное аксональное	Амплитуда М-ответа при стимуляции дистальнее туннеля <3 мВ
Полное аксональное	Выпадение М-ответа
ТН5 *(сдавление локтевого нерва в канале Гюйона)*	
Легкое	Чувствительные нарушения в зоне иннервации n.ulnarus. Нормальная СРВ по n.cutaneus dorsalis; СРВ сенсорнная в сегменте запястья <50 м/с и (или) амплитуда сенсорного ответа < возрастной нормы (нет сенсорной полиневропатии).
Среднее	Латентность М-ответа >3,3 мс
Выраженное	Выпадение сенсорного ответа
Резко выраженное	Выпадение М-ответа

[1]СРВ - скорость распространения возбуждения; [2]Блок проведения - амплитуда М-ответа при стимуляции проксимальнее туннеля снижена более чем на 20% в сравнении с нормальными показателями дистально.

Пациентов исключали из исследования при наличии в катамнезе: 1) разрыва или опухоли исследуемого нерва, 2) хирургической декомпрессии нерва на уровне исследуемого туннеля, 3) травматического поражения плечевого нервного сплетения и (или) формирующих его передних ветвей спинномозговых нервов на исследуемой стороне, 4) полиневропатии.

В качестве одного наблюдения рассматривали случай сдавления одного нерва в одном туннеле. Поэтому, за счет вариантов с двусторонним поражением, общее число наблюдений превышает общее число обследованных пациентов. Исходные демографические характеристики сформированных групп исследования представлены в Таблице 3.

Таблица 3

Исходные характеристики групп при исследовании ППС нервов

Параметр	Основная группа	Контрольная группа
1	*2*	*3*
ТН1 *(сдавление срединного нерва в канале запястья)*		
Наблюдений (пациентов)	201 (122)	135 (84)
Пол (муж : жен)	45 (22,4%) : 156 (77,6%)	30 (22,2%) : 105 (77,8%)
Возраст, лет	53,9 ± 0,6 (26 - 70)	53,4 ± 0,9 (36 - 76)
Вес, кг	79,3 ± 1,0 (42 - 117)	76,7 ± 1,2 (46 - 117)
Рост, см	165,8 ± 0,6 (149 - 194)	166,2 ± 0,8 (150 - 195)
ИМТ, кг/м2	28,8 ± 0,3 (15,6 - 41,3)	27,8 ± 0,4 (19,1 – 39,5)
ТН2 *(сдавление локтевого нерва в кубитальной области)*		
Наблюдений (пациентов)	110 (88)	141 (91)
Пол (муж : жен)	73 (66,4%) : 37 (33,6%)	91 (64,5%) : 50 (35,5%)
Возраст, лет	51,2 ± 1,2 (20 - 74)	49,4 ± 1,2 (24 - 77)
Вес, кг	82,3 ± 1,6 (42 - 123)	79,4 ± 1,1 (55 - 114)
Рост, см	172,5 ± 0,9 (150 - 196)	173,0 ± 0,7 (150 - 195)
ИМТ, кг/м2	27,6 ± 0,4 (15,5 - 39,5)	26,6 ± 0,4 (18,4 - 39,3)

Продолжение таблицы 3

Параметр	Основная группа	Контрольная группа
1	*2*	*3*
ТН3 *(сдавление лучевого нерва в области плеча)*		
Наблюдений (пациентов)	35 (35)	35 (35)
Пол (муж : жен)	22 (62,9%) : 13 (37,1%)	22 (62,9%) : 13 (37,1%)
Возраст, лет	39,2 ± 2,8 (18 - 76)	39,2 ± 2,8 (18 - 76)
ТН4 *(сдавление глубокой (двигательной) ветви лучевого нерва)*		
Наблюдений (пациентов)	25 (25)	25 (25)
Пол (муж : жен)	12 (48,0%) : 13 (52,0%)	12 (48,0%) : 13 (52,0%)
Возраст, лет	25,0 ± 2,8 (21 - 72)	25,0 ± 2,8 (21 - 72)
ТН5 *(сдавление локтевого нерва в канале Гюйона)*		
Наблюдений (пациентов)	31 (28)	28 (25)
Пол (муж : жен)	9 (29,0%) : 22 (71,0%)	9 (32,1%) : 19 (67,9%)
Возраст, лет	54,9 ± 3,1 (20 - 78)	55,6 ± 2,9 (20 - 73)
Вес, кг	73,0 ± 2,8 (48 - 102)	76,6 ± 3,0 (48 - 102)
Рост, см	166,3 ± 1,9 (150 - 200)	169,0 ± 1,9 (153 - 200)
ИМТ, кг/м2	26,4 ± 0,9 (17,8 - 40,1)	26,9 ± 1,1 (17,8 - 38,1)

Данные представлены в виде «M±m (Min-Max)», где M - среднее значение, m - стандартная ошибка среднего, Min - Max (минимальное и максимальное значения). При сопоставлении групп по возрасту, весу, росту, индексу массы тела (ИМТ) для всех P>>0,05.

Как следует из представленных данных, основная и контрольная группы всех ТН сопоставимы по возрасту, полу, весу и росту.

2.2. Ультразвуковое исследование

Всем пациентам, включенным в работу, выполнили УЗИ. УЗИ проводили на сканере «LOGIQ E9» (GE) линейным датчиком с частотой сканирования 9-15 МГц. При осмотре нервных стволов использовали встроенные программы исследования поверхностных органов (small parts, musculoskeletal). Для достижения максимального качества изображения и высокой точности измерения нервов в процессе исследования дополнительно применяли: 1) коррекцию частоты датчика и уровня фокусировки в

зависимости от изменяющейся глубины прохождения нервного ствола, 2) тканевую гармонику и шкалу оттенков серого для увеличения контрастности и четкости контуров нерва и отдельных пучков нервных волокон, 3) панорамное сканирование для точной оценки расстояний превышающих ширину сканирования датчика (оценка диастаза при полном анатомическом перерыве нерва; измерение протяженности фокальных изменений нервного ствола; оценка расстояние от измененного участка нерва до основных анатомических ориентиров), 4) функции эллипса и трассировки для измерения ППС нерва, 5) энергетическое допплеровское картирование для оценки интраневральной и периневральной васкуляризации, 6) функцию «zoom» - для увеличения глубоко расположенных объектов сканирования.

УЗИ нервов верхней конечности проводили по общепринятой методике в положении пациента сидя лицом к оператору, с рукой, расположенной на поверхности приставного столика. Рука пациента слегка согнута в локтевом суставе, в положении супинации при осмотре срединного нерва и дистальных отделов локтевого нерва, пронации при осмотре дистальных отделов лучевого нерва и максимальной внутренней ротации при осмотре лучевого и локтевого нервов [299, 224, 105, 195, 190, 261, 306, 326, 177, 89, 112, 71, 288, 197]. При необходимости выполняли сканирование в положении пациента лежа на кушетке, с рукой запрокинутой за голову или расположенной вдоль туловища [39]. После идентификации нервного ствола в месте типичной локализации проводили его сканирование аксиальными срезами в проксимальном и дистальном направлениях на всем протяжении [214, 224, 135, 291]. На участках «интереса» сканирование дополняли продольными срезами нерва.

Стандартное исследование проводили в два этапа: 1) общий осмотр всего нервного ствола, 2) осмотр туннелей и отдельных сегментов нерва (прицельная оценка мест потенциальной компрессии и других зон «интереса» выявленных при общем осмотре) [214].

На первом этапе использовали глубину сканирования достаточную, чтобы захватить нерв при его прохождении в глубоких слоях. Для обеспечения максимального уровня проникновения и минимизации артефактов сканирование проводили на минимальной частоте датчика (9-10 МГц), с использованием одного фокуса, непрерывно меняя фокусное расстояние по мере изменения глубины прохождения нервного ствола. При этом оценивали: 1) анатомическую целостность нерва, 2) курс нерва относительно окружающих анатомических ориентиров, 3) равномерность толщины нерва, 4) эхогенность и сохранность волокнистой структуры нерва, 5) наличие патологических образований по ходу нерва.

На втором этапе выполняли осмотр туннелей и отдельных сегментов нерва. Для достижения максимального качества изображения нерва и окружающих его анатомических структур сканирование проводили на максимальной частоте датчика (12-15 МГц), со значительным увеличением изображения, используя, при необходимости, функцию «zoom» и дополнительные зоны фокусировки. Для устранения эффекта анизотропии рабочую поверхность датчика располагали параллельно оси исследуемого нерва [224, 135, 291].

На поперечных срезах оценивали: 1) ППС нерва, 2) толщину и ширину нерва, 3) поперечное смещение нерва при выполнении функционального теста, 4) состояние стенок окружающего нерв туннеля. При продольном сканировании нерва оценивали: 1) равномерность толщины, 2) четкость контуров, 3) степень волокнистой дифференцировки, 4) васкуляризацию, 5) продольное смещение нервного ствола на фоне подвижных сухожилий и мышц при выполнении функционального теста. Дополнительно, для косвенной оценки функционального состояния нерва, оценивали размер и эхогенность мышц, в зоне его двигательной иннервации. Измерение ППС нерва проводили по стандартной методике с исключением гиперэхогенных оболочек (наружного эпиневрия) плохо дифференцируемых от близкой по плотности перинервальной клетчатки [288, 175, 174, 287, 142, 245, 166, 105,

195, 190, 248, 266, 216, 151, 240, 294, 280, 306, 177, 71, 237, 178, 103, 197, 317, 149]. Измеряли только отчетливо дифференцируемый гипоэхогенный тяж, соответствующий близко расположенным пучкам нервных волокон (рис. 1). При делении срединного нерва на два ствола проксимальнее запястья (bifid median nerve), а также при оценке дистальных отделов срединного и локтевого нервов ППС ветвей суммировали [77, 210, 287, 317]. При округлой или овальной форме поперечного среза нерва для измерения площади использовали функцию элипса, при неправильной форме - трассировку [216, 245, 291, 244, 66, 190]. Датчик располагали поперечно оси нерва, ориентируясь на срез с минимальной площадью [266, 103, 292, 291, 317]. Измерение толщины и ширины выполняли с минимальной компрессией датчика, что позволяло избежать деформации нерва [228].

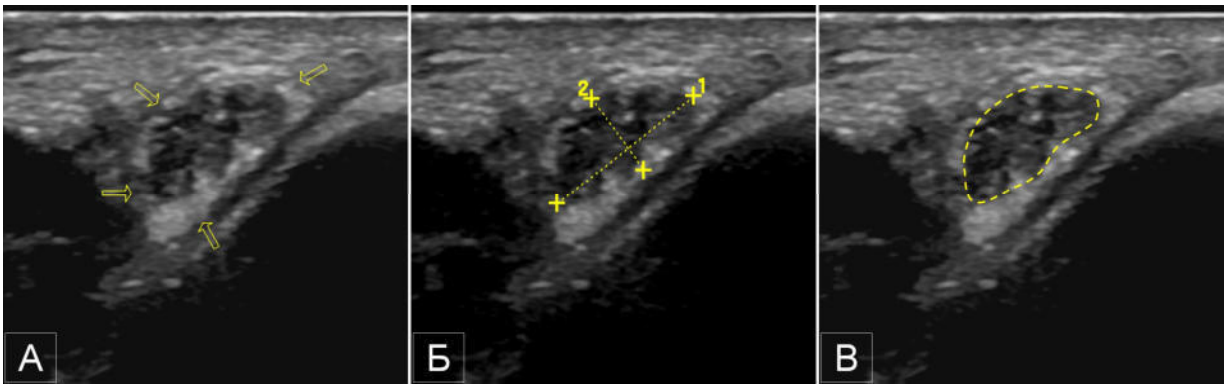


Рис. 1. Гиперэхогенный эпиневрий (стрелки) при поперечном УЗ-сканировании локтевого нерва (А). Измерение линейных размеров (Б) и площади (В) гипоэхогенной части поперечного среза локтевого нерва, соответствующей пучкам нервных волокон

Для сопоставления результатов измерений нерва in vivo методами прямой (интраоперационной) и ультразвуковой визуализации у пациентов с полным, закрытым разрывом нервного ствола при УЗИ оценивали максимальный диаметр поперечного сечения проксимальной и дистальной культей в месте наиболее выраженного утолщения (рис. 2). Полученные данные верифицировали по результатам стандартного интраоперационного

измерения [11, 23] выполненного при непосредственной визуализации нерва в ране с помощью стерильных линейки и штангенциркуля.

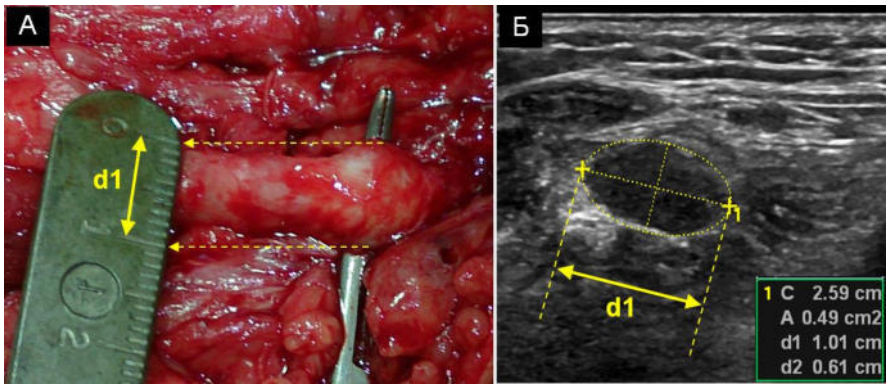


Рис. 2. Измерение нерва в ране (А) и на ультразвуковом изображении (Б) с определением максимального диаметра поперечного сечения (d1).

При сопоставлении результатов УЗ- и МР-измерений оценивали максимальный и минимальный диаметры поперечного сечения нерва (рис. 3). Для получения УЗ-срезов нерва, точно повторяющих срезы при МРТ, уровень сканирования предварительно регламентировали, определяя его по стандартным костным ориентирам, представленным в Таблице 4. Сканирование проводили на уровне наиболее поверхностно расположенной точки костного анатомического ориентира.

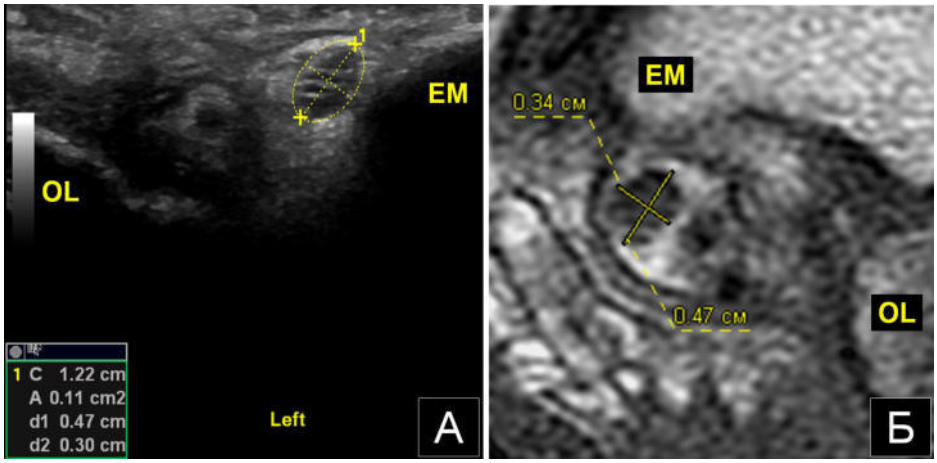


Рис. 3. Измерение локтевого нерва на ультразвуковом изображении (А) и на МР-изображении (Б) с определением максимального (d1) и минимального (d2) диаметров поперечного сечения на уровне медиального надмыщелка плечевой кости (EM) и олекранона (OL). Площадь поперечного сечения (А), ширина (d1), толщина (d2) нерва.

Таблица 4

Анатомические ориентиры для получения сопоставимых УЗ- и МР-срезов

Нерв	Анатомические ориентиры
Срединный	гороховидная кость, крючковидная кость
Локтевой	медиальный надмыщелок плечевой кости, суставная щель локтевого сустава, гороховидная кость
Лучевой	спиральная борозда, латеральный надмыщелок плечевой кости, головка лучевой кости
Малоберцовый	мыщелки бедренной кости, головка малоберцовой кости
Большеберцовый	мыщелки бедренной кости, медиальная лодыжка

Для оценки степени зависимости УЗ-измерений от оператора предложили двум независимым исследователям оценить максимальный и минимальный диаметры и площадь поперечного сечения нерва на одной и той же серии УЗ-изображений, предварительно сохраненных в памяти сканера (рис. 4).

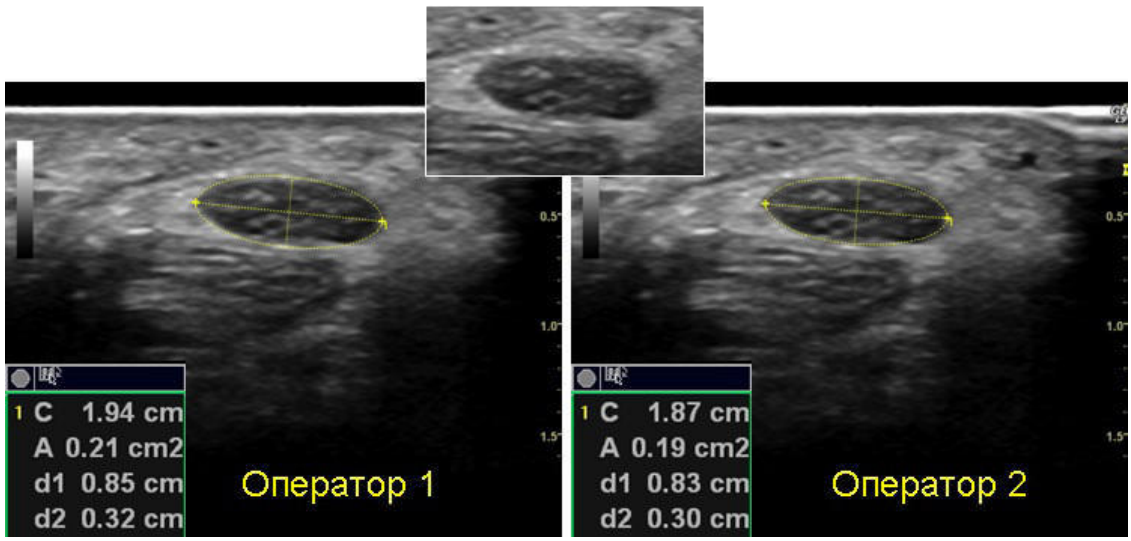


Рис. 4. Измерение срединного нерва на одном ультразвуковом изображении двумя независимыми операторами. Площадь поперечного сечения (A), ширина (d1), толщина (d2) нерва.

Для определения возможностей УЗИ в оценке взаимоотношения периферического нерва и объемного образования обследовали группу

пациентов с предварительно выявленными образованиями различной степени удаленности от нервных стволов конечностей. При УЗИ измеряли расстояние от объемного образования до ближайших нервных стволов, разделяя наблюдения на группы: 1) интраневральное образование, 2) образование тесно прилежит к нерву, 3) удаленность до 10 мм, 4) удаленность более 10 мм. По стандартным УЗ-характеристикам [84, 217, 29, 55, 8, 63, 32, 28, 60] выявленные образования описывали как солидные, кистозные, костной плотности. Полученные данные подтверждали с помощью МРТ, верифицировали интраоперационно.

Для определения возможностей УЗИ при оценке анатомической целостности нерва обследовали группу пациентов с клиническими проявлениями посттравматической невропатии и признаками полного аксонального поражения по данным электронейромиографии.

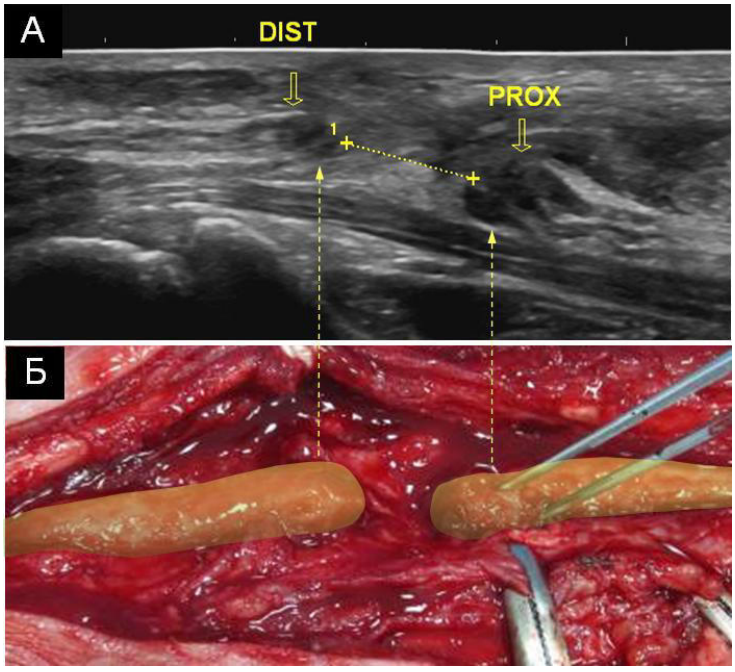


Рис. 6. Измерение диастаза при полном анатомическом перерыве срединного нерва на ультразвуковом изображении (а) и в ране (б). Неврома в структуре проксимальной культи (PROX), дистальная культя (DIST).

При УЗИ оценивали непрерывность нервного ствола. Ультразвуковыми признаками полного разрыва (рис. 6) считали визуализацию проксимального и дистального фрагментов нерва с наличием диастаза между ними и

невромой в проксимальной культе [44, 59, 255, 84, 244, 6]. Неврому описывали при выявлении УЗ-признаков овального, гипоэхогенного образования, с ровными, четкими контурами, однородной эхоструктурой, исходящего из ствола нерва на уровне разрыва.

Измерение ППС проводили в предварительно регламентированных сегментах нерва. Для разделения нерва на сегменты использовали анатомические ориентиры представленные в Таблице 5.

Таблица 5

Ориентиры для разграничения сегментов нервов при УЗИ

Срединный нерв (TH1)	
S1/S2	Место деления нерва на общие пальцевые нервы
S2/S3	Дистальный край крючка крючковидной кости
S3/S4	Дистальный край гороховидной кости
S4/S5	Место выхода из-под мышцы поверхностного сгибателя пальцев
S5/S6	Место выхода из-под мышцы круглого пронатора
Локтевой нерв (TH2)	
S1/S2	Уровень расхождения головок локтевого сгибателя запястья
S2/S3	Дистальный край медиального надмыщелка плечевой кости
S3/S4	Проксимальный край медиального надмыщелка плечевой кости
S4/S5	Место выхода из-под медиальной головки трехглавой мышцы плеча
Лучевой нерв (TH3)	
S1/S2	Место деления нерва на глубокую и поверхностную ветви
S2/S3	Дистальный край спиральной борозды
S3/S4	Проксимальный край спиральной борозды
Глубокая (двигательная) ветвь лучевого нерва (TH4)	
S3/S4	Место деления нерва на глубокую и поверхностную ветви
S4/S5	Дистальный край спиральной борозды
Локтевой нерв (TH5)	
S3/S4	Дистальный край гороховидной кости
S4/S5	Проксимальный край дистального лучелоктевого сустава

Дистальный или проксимальный край костного ориентира (гороховидная кость, крючок крючковидной кости, медиальный надмыщелок плечевой кости) определяли в момент исчезновения на УЗ-изображении гиперэхогенного контура анатомического образования при движении датчика в соответствующем направлении.

Участок гиперэхогенного контура плечевой кости, к которому тесно прилежит лучевой нерв, интерпретировали как спиральную борозду. Проксимальный край дистального лучелоктевого сустава определяли в момент слияния контуров лучевой и локтевой костей при движении датчика по предплечью в сторону лучезапястного сустава.

Таким образом, в каждом нерве по отношению к исследуемому туннелю выделили до 5-6 стандартных сегментов: S1 - дистальный отдел нерва, S2 - выход из туннеля, S3 туннель, S4 - вход в туннель, S5 и S6 проксимальные отделы нерва (рис. 5). Сегменты S2-выход, S3-туннель, S4-вход описывали как «область туннеля». Сегменты S1, S5, S6 – «удаленные сегменты». Ветви лучевого и локтевого нервов дополнительно к номеру сегмента маркировали: глубокая (двигательная) ветвь – «m», поверхностная (чувствительная ветвь) – «s» (ТН3 – S1m, S1s; ТН4 – S3m, S3s; ТН5 – S3m, S3s).

Для сопоставления с ЭФИ использовали максимальную ППС нерва, найденную в каждом сегменте или в группе сегментов. Оператор УЗИ не был осведомлен о результатах КЭФИ. Средний временной диапазон между ультразвуковым и электрофизиологическим исследованиями составил 8,9±0,3 дней (от 0 до 28, медиана - 7, интерквартильный размах от 3 до 14).

Для исключения возможного влияния роста, веса и стороны (доминантная/недоминантная, правая/левая) на поперечные размеры нерва рассчитывали индексы утолщения соотношением ППС нервного ствола в области туннеля к удаленным сегментам.

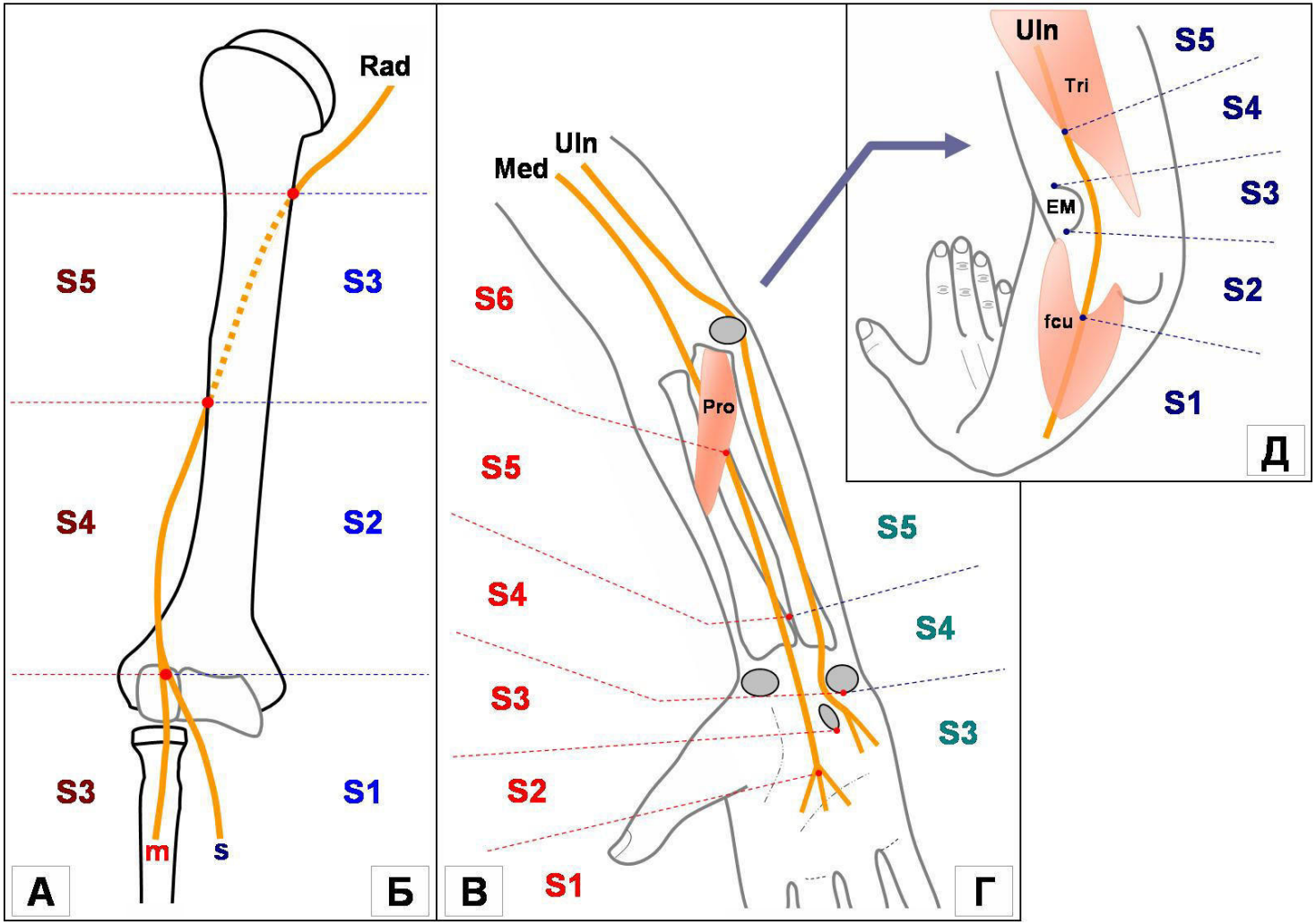


Рис. 5. Разграничение нервов верхней конечности на сегменты при УЗИ. Лучевой нерв (Rad) при TH4 (А) и TH3 (Б). Срединный нерв (Med) при TH1 (В). Локтевой нерв (Uln) при TH5 (Г) и TH2 (Д). Медиальный надмыщелок плечевой кости (EM), трицепс (Tri), локтевой сгибатель запястья (fcu), круглый пронатор (Pro).

Для ТН1 рассчитывали индекс деформации нерва на уровне крючковидной кости по соотношению ширины нервного ствола к его толщине, а также оценивали степень ладонного смещения ретинакулума (retinaculum flexorum), измеряя расстояния от максимально удаленной точки ретинакулума до касательной линии к местам его костного крепления. Степень ладонного смещения ретинакулума определяли на двух уровнях: 1) между гороховидной и ладьевидной костями, 2) между крючковидной костью и костью трапецией.

2.3. Электронейромиография

Изменение функционального состояния нерва при ТН оценивали с помощью ЭФИ, включающего стимуляционную электронейромиографию с исследованием проведения по нерву и, при необходимости, игольчатую электромиографию с определением биоэлектрической активности мышц. Исследование проводили на электромиографе Nicolet VikingSelect. ТН диагностировали при выявлении нарушения проведения по сенсорным и (или) моторным волокнам нерва в области туннеля при сохранных аналогичных показателях в непораженных сегментах по результатам ЭНМГ. С помощью ЭМГ оценивали степень денервации мышц.

ЭФИ нервов проводили по стандартной методике согласно рекомендациям Американской Ассоциации электродиагностической медицины, Академии неврологии, Академии физической медицины и реабилитации [158, 261]. Положение пациента при исследовании срединного и локтевого нервов - лежа на спине, при исследовании лучевого нерва - сидя, с рукой умеренно согнутой в локтевом суставе. Исследование проводили в помещении с контролируемым микроклиматом, обеспечивающим постоянную температуру кожных покровов конечностей не менее 32 ^{o}C.

ЭНМГ проводили с помощью накожных электродов. При исследовании моторного проведения регистрирующий электрод накладывали на двигательную точку индикаторной мышцы, стимулирующий биполярный

электрод - в проекции исследуемого нерва, в месте наиболее поверхностного его расположения. Чрескожную стимуляцию проводили из нескольких стандартных точек по ходу нерва, прямоугольными импульсами длительностью 0,2 (0,1-0,5) мс, частотой 1 Гц, увеличивая силу тока до супрамаксимальных значений, ориентируясь на стойкий по амплитуде и латентности ответ мышцы. При исследовании сенсорного проведения использовали антидромную методику с расположением регистрирующего электрода в зоне иннервации, а стимулирующего электрода в проекции исследуемого нерва. Стимуляцию проводили из нескольких стандартных точек с применением усреднения (до 100-500 стимулов) при частоте до 3-4 Гц, интенсивностью до 50 мА.

При исследовании проводящей функции моторных волокон оценивали: 1) амплитуду М-ответа; 2) форму, площадь и длительность негативной фазы М-ответа; 3) наличие блоков проведения, декремент амплитуды и площади М-ответа; 4) латентность М-ответа; 5) скорость проведения импульса. В качестве индикаторных мышц использовали для срединного нерва - короткую мышцу отводящую большой палец, для локтевого нерва - мышцу отводящая мизинец, для лучевого нерва - плечелучевую мышцу и мышцу разгибатель указательного пальца. Стимуляцию срединного нерва осуществляли из точек на запястье, в области локтевого сгиба и в нижней трети плеча; локтевого нерва - на запястье, ниже и выше локтевого сустава; лучевого нерва - в верхней трети предплечья, выше локтевого сустава, и в средне трети плеча.

При исследовании проводящей функции сенсорных волокон оценивали: 1) амплитуду потенциала действия; 2) латентность ответа; 3) скорость проведения импульса. Отводящий электрод накладывали на проксимальную фалангу третьего или второго пальцев при оценке срединного нерва, 5 пальца при оценке локтевого нерва и в области анатомической табакерки при оценке лучевого нерва. Стимуляцию срединного нерва осуществляли из точек на запястье и в области локтевого сгиба; локтевого нерва - на запястье, в

области локтевого сгиба и в нижней трети плеча; лучевого нерва - в средней трети предплечья. Нормативные значения основных показателей используемых при оценке функции исследуемых нервов представлены в Таблице 6.

Таблица 6

Нормативные значения основных показателей при ЭНМГ

Показатель	Срединный нерв	Локтевой нерв	Лучевой нерв
Амплитуда М-ответа	≥ 4мВ	≥ 4мВ	≥ 3мВ
Снижение амплитуды М-ответа в сравнении с дистальной точкой стимуляции	<20%	<20%	<20%
Дистальная латентность М-ответа	≤ 4,2мс	≤ 3,3мс	≤ 2,0мс
Скорость моторного проведения	-	≥ 51м/с	≥ 50м/с
Скорость сенсорного проведения	≥ 50м/с	≥ 50м/с	≥ 56м/с

Для исключения диффузного поражения нервных стволов (полиневропатии) дополнительно к испытуемой паре нервов обследовали другие нервы верхних конечностей.

2.4. Магнитно-резонансная томография

МРТ применяли в качестве метода подтверждающего результаты УЗИ при измерении периферического нерва и оценке взаимоотношения нервного ствола и объемного образования. Использовали данные МР-исследований лучезапястного, локтевого и коленного суставов, выполненных по стандартной методике на высокопольных томографах Signa HDx, Signa Infinity (General Electric) с индукцией магнитного поля 1,5 Тесла.

Для исследования нервов конечностей использовали жесткую коленную или поверхностную гибкую катушку, которая фиксировалась на область исследования. При исследовании нервов верхней конечности пациента помещали в туннель магнита в положении лежа на животе с рукой

вытянутой вперёд, кистью пронированной в центре катушки. Обеспечивали нейтральное положение и плотную фиксацию локтя и кисти. При исследовании нервов нижних конечностей положение пациента лежа на спине, ногами вперед, с максимальным разгибанием коленного сустава. Положение пациента во время исследования не менялось.

После укладки пациента, на начальном этапе исследования, получали ориентировочные срезы для локализации нерва. На следующем этапе выполняли серию аксиальных Т1 ВИ по методике "Spin-Echo" (SE), Т2 ВИ, PD FAT SAT (протонная плотность с подавлением жира) ВИ и корональных STIR (инверсия-восстановление спинового эха) изображений. Параметры МР-сканирования приведены в Таблице 7.

Таблица 7

Параметры МР-сканирования нервов конечностей

Параметры	AX T1	AX T2	AX PD FAT SAT	COR STIR
Время повторения (TR), мс	400	4000	3000	4500
Время эхо (TE), мс	14	104	20	16
Матрица, пиксел х пиксел	256 х 192	256 х 192	256 х 192	256 х 192
Толщина среза / шаг, мм	3,0 / 0,1	3,0 / 0,1	3,0 / 0,1	3,0 / 0,1
Поле обзора (FOV), см	16,0х16,0	16,0х16,0	16,0х16,0	18,0х18,0

AX T1 - аксиальные Т1 ВИ; AX T2 - аксиальные Т1 ВИ; AX PD FAT SAT - аксиальные PD FAT SAT ВИ; COR STIR - корональные STIR изображения.

На полученных МР-изображениях оценивали: 1) анатомическую целостность нерва, 2) курс нерва относительно окружающих анатомических ориентиров, 3) равномерность толщины нерва, 4) интенсивность сигнала нерва в сравнении с окружающими мышцами на Т2 ВИ, 5) сохранность волокнистой структуры нерва, 6) наличие патологических образований по ходу нерва, 7) интенсивность сигнала мышц, в зоне двигательной иннервации исследуемого нерва.

На аксиальных срезах измеряли ППС, толщину и ширину нерва, расстояние от нерва до объемных образований. Для получения МР-срезов

нерва, точно повторяющих срезы при УЗИ, по срединно-сагитальному и срединно-корональному изображениям (localize) проводили позиционирование аксиальных срезов таким образом, чтобы плоскость сканирования проходила через стандартные костные ориентиры (представлены в Таблице 5) или на уровне объемного образования.

Нерв измеряли на уровне наиболее поверхностно расположенной точки костного анатомического ориентира. Для оценки расстояния от нерва до объемного образования использовали минимальное из полученных линейных значений. Измерения проводили с помощью встроенных инструментов программ eFilm Viewer или RadiAnt DICOM Viewer.

2.5. Методы статистической обработки полученных данных

Обработку результатов исследования проводили с использованием систем статистической обработки Statistica for Windows (версия 10. Лиц. BXXR310F964808FA-V), MedCalc (Version 16.1). Количественные данные представляли в виде среднего значения (M) ± стандартная ошибка среднего (m), минимального и максимального значений (Min - Max), медианы (Me) и интерквартильного размаха (LQ - UQ).

Различия считали достоверными при $p \leq 0{,}05$. Устойчивый вывод о наличии или отсутствии достоверных различий мы формулировали тогда, когда получали одинаковые, по сути, результаты по всему комплексу применявшихся критериев.

Сопоставление частотных характеристик качественных показателей проводилось с помощью непараметрических методов $\chi 2$, $\chi 2$ с поправкой Йетса (для малых групп), критерия Фишера. Сравнение количественных параметров, в исследуемых группах осуществлялось с использованием критериев Манна-Уитни, Вальда, медианного хи-квадрат и модуля ANOVA.

Для больших выборок, с распределением приближенным к нормальному, оценку отличий количественных признаков между группами проводили с применением t-критерия Стьюдента. Для малых выборок и при

ненормальном распределении, использовали непараметрические статистики - тест Манна-Уитни, для нескольких групп - тест Крускала-Уолиса.

Анализ зависимостей проводили методами корреляционного и регрессионного анализа. Пороговые значения получали методом построения классификационных деревьев и с помощью ROC-анализа в системе MedCalc.

Для определения диагностической эффективности полученных пороговых значений рассчитывали чувствительность, специфичность, диагностическую точность, положительную и отрицательную прогностическую ценность по формулам:

Чувствительность = ИП / (ИП + ЛО) х 100%

Специфичность = ИО / (ИО + ЛП) х 100%

Диагностическая точность = (ИО + ИП) / (ИО + ИП + ЛО + ЛП) х 100%

Положительная прогностическая ценность = ИП / (ИП + ЛП) х 100%

Отрицательная прогностическая ценность = ИО / (ЛО + ИО) х 100%

где ЛП - ложноположительный результат (отнесение истинно здорового к классу больных), ЛО - ложноотрицательный результат (отнесение истинно больного к классу здоровых), ИП - истинно положительный результат (отнесение истинно больного к классу больных), ИО - истинно отрицательный результат (отнесение истинно здорового к классу здоровых).

При сопоставлении результатов УЗ-, МР- и интраоперационных измерений оценку согласованности показателей проводили с помощью корреляционного анализа. Рассчитывали коэффициенты линейной корреляции Пирсона и коэффициенты ранговой корреляции Спирмена.

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭХОГРАФИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ НЕРВОВ

(результаты собственных исследований)

В процессе сопоставлении результатов УЗ-измерений нервов с данными, полученными интраоперационно и при МРТ, получили высокие достоверные ($p < 0,0001$) коэффициенты линейной корреляции Пирсона, которые показывают согласованность между конкретными парами значений (табл. 8, рис. 7).

Таблица 8

Сопоставление результатов измерений диаметра поперечного сечения нерва различными методами

Измерения	УЗИ	ИО	Δ%	УЗИ	МРТ	Δ%	УЗИ1	УЗИ2	Δ%
Наблюдений	30			144			94		
M	6,1	6,4	3,7	4,4	4,5	2,2	4,1	4,1	0,6
m	0,3	0,3	1,6	0,2	0,2	0,9	0,2	0,2	0,5
Me	5,9	6,5	2,8	4,0	4,0	2,1	3,5	3,7	0,0
Min	2,7	3,0	-15,3	1,4	1,5	-33,3	1,5	1,7	-13,0
Max	9,7	11,0	25,0	12,8	12,1	37,1	10,0	10,0	13,7
LQ	5,0	5,0	0,0	2,7	2,8	-4,8	2,6	2,6	-2,9
UQ	7,3	7,0	8,1	5,9	5,8	8,6	5,7	5,6	3,2
σ	1,6	1,8	8,9	2,1	2,1	10,3	1,8	1,8	5,1
Пирсона коэффициент	0,95			0,98			0,99		
Спирмена коэффициент	0,95			0,97			0,99		

ИО - интраоперационные измерения, Δ% - величина расхождения, M - среднее значение, m - стандартная ошибка среднего, Me - медиана, Min - Max - минимальное и максимальное значения, LQ - UQ - интерквартильный размах, стандартное отклонение (σ)

Значения коэффициентов линейной корреляции совпадали со значениями достоверных ($p < 0,0001$) коэффициентов ранговой корреляции

Спирмена, что подтверждает полученные высокие зависимости. Как следует из представленных данных, относительная величина расхождения между методами и в среднем и по медиане не превышает 4% и варьирует в пределах от нуля до 3,7%.

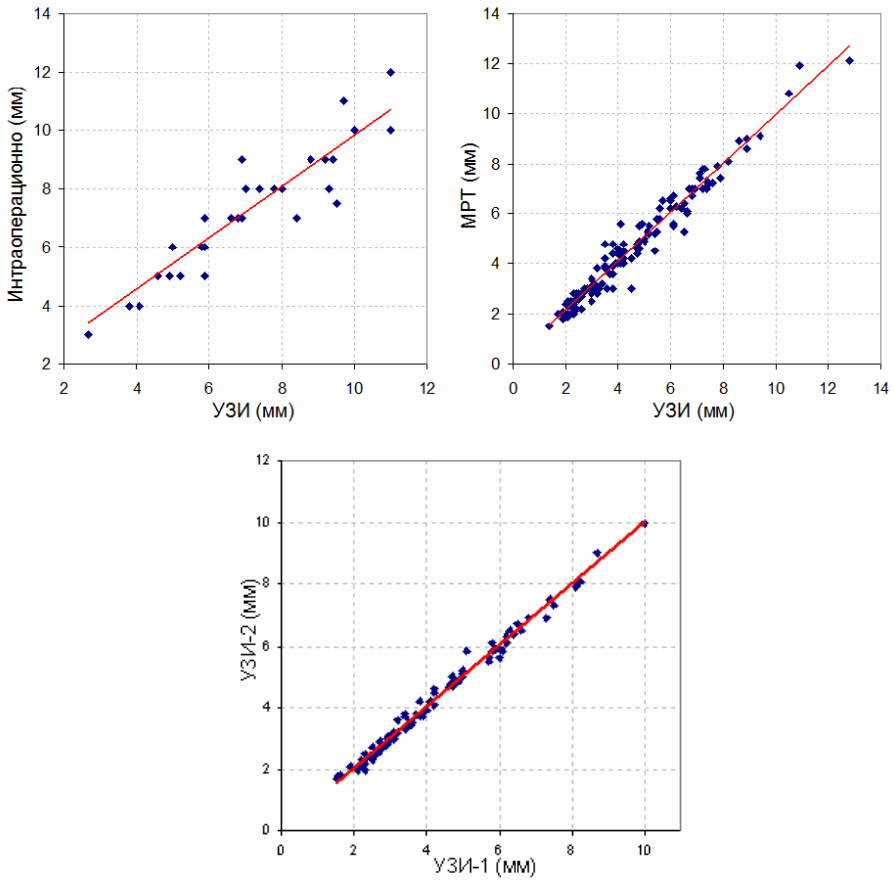


Рис. 7. Сопоставления результатов измерений диаметра поперечного сечения нерва различными методами (Интраоперационно, УЗИ, МРТ).

При сопоставлении результатов интраоперационных и УЗ- измерений достоверные ($p < 0,0001$) коэффициенты линейной корреляции Пирсона и ранговой корреляции Спирмена составили +0,95. Результаты, полученные при непосредственном измерении нерва в ране, были стабильно больше соответствующих им измерений при УЗИ (среднее +3,7%, медиана +2,8%). При сопоставлении результатов УЗ- и МР- измерений достоверные ($p < 0,0001$) коэффициенты линейной корреляции Пирсона и ранговой корреляции Спирмена составили соответственно +0,98 и +0,97. Полученные при МРТ результаты также стабильно превышали данные УЗИ (среднее

+2,2%, медиана +2,1%). При сопоставлении результатов УЗ-измерений, выполненных двумя независимыми операторами, достоверные ($p < 0,0001$) коэффициенты линейной корреляции Пирсона и ранговой корреляции Спирмена достигли +0,99.

При сопоставлении результатов УЗ-измерений удаленности образования от нервного ствола (мм) с данными, полученными интраоперационно и при МРТ, достоверный ($p < 0,001$) коэффициент линейной корреляции Пирсона составил +0,99 (рис.8)

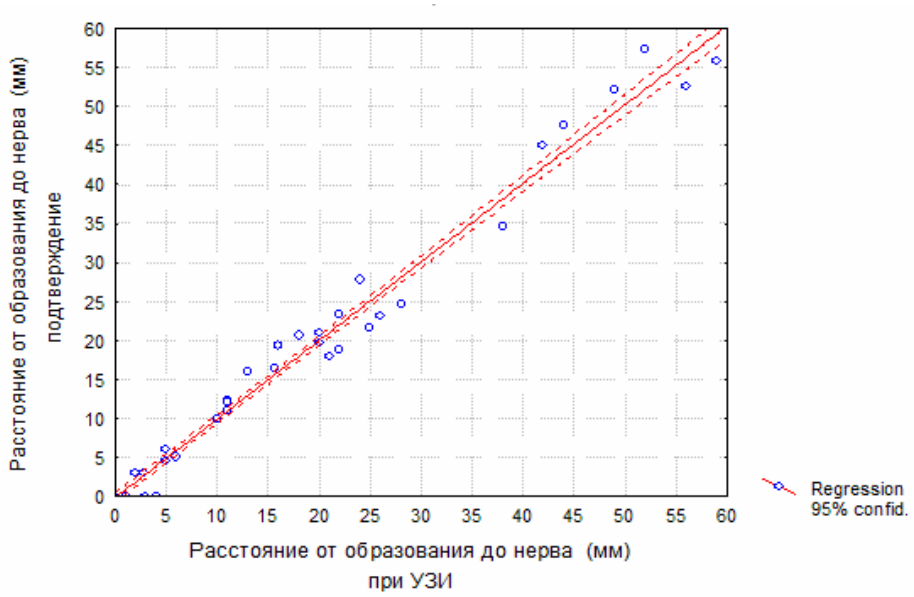


Рис. 8. Сопоставления результатов измерений удаленности образования от нервного ствола различными методами (Интраоперационно, УЗИ, МРТ).

При УЗИ правильно оценили удаленность образования от нервных стволов в 55 (95%) из 58 подтвержденных случаев. В двух наблюдениях ошибочно оценили тесно прилежащее к нервному стволу образование, классифицировав его в одном случае как исходящее из нерва, а в другом - как удаленное на расстояние до 10мм. В одном наблюдении образование, исходящее из нервного ствола ошибочно оценили как тесно прилежащее к нерву. Таким образом, общее число расхождений не превысило 5%. Эффективность УЗ-диагностики интраневральных образований составила: чувствительность - 92,3%, специфичность - 97,8%, точность - 96,6%, положительная прогностическая ценность - 90,9%, отрицательная

прогностическая ценность - 95,7%. При оценке характера образования с распределением их на солидные, кистозные и костной плотности получили полное совпадение с интраоперационными данными и результатами МРТ.

При УЗ-оценке целостности нерва у пациентов с посттравматической невропатией полный анатомический перерыв выявили в 30 (97%) из 31 подтвержденных случаев, исключили - в 20 (80%) из 25 подтвержденных случаев. При расчете эффективности УЗ-диагностики полного разрыва нерва получили значения: чувствительность - 96,8%, специфичность - 80,0%, точность - 89,3%, положительная прогностическая ценность - 85,7%, отрицательная прогностическая ценность - 95,2%. У четырех пациентов УЗ-визуализация нерва была затруднена выраженными рубцовыми изменениями в зоне исследования. При верификации данных наблюдений полный разрыв нерва был выявлен в трех случаях, анатомическая целостность определена в одном случае.

ГЛАВА 4. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ НЕРВОВ ПРИ ТУННЕЛЬНЫХ НЕВРОПАТИЯХ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ

(результаты собственных исследований)

По данным КЭФИ всех обследуемых распределили по степеням поражения нерва. При всех ТН, оценивая нервный ствол на всем протяжении, наблюдали его утолщение в области туннеля за счет сегментов близких к зоне компрессии (S2-выход, S3-туннель, S4-вход), где значения ППС достигали наибольших величин (рис. 9). Изменение сегментов удаленных от туннеля (S1, S5, S6) было менее значительным.

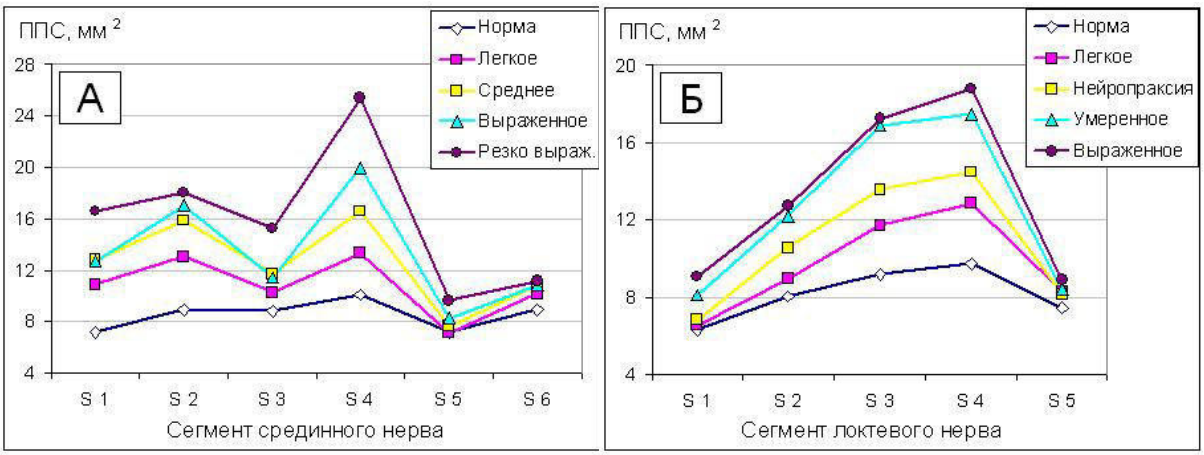


Рис. 9. Изменение ППС различных сегментов в зависимости от степени поражения нерва при ТН1 (А) и ТН2 (Б).

В большинстве случаев величина максимальной ППС нерва в области туннеля была больше аналогичного показателя найденного в удаленных сегментах (табл. 9). Как следует из представленных данных, доля таких наблюдений при анализе различных ТН варьировала в пределах от 77 до 100%. Доля наблюдений, при которых показатели были равны, не превышала 3% при ТН1-3, и 12-13% при ТН4-5. Ни в одном наблюдении при ТН2-4 величина ППС удаленных сегментов не превышала ППС нерва в области туннеля. Только в одном наблюдении при ТН1 и трех наблюдениях при ТН5

величина ППС удаленных сегментов нерва была больше аналогичного показателя в зоне туннеля.

Таблица 9

Сопоставление ППС нерва в области туннеля и в удаленных сегментах.

ТН	n	Т > У	Т = У	Т < У
ТН1	201	194 (97%)	6 (3%)	1 (0,5%)
ТН2	110	107 (97%)	3 (3%)	0 (0%)
ТН3	35	35 (100%)	0 (0%)	0 (0%)
ТН4	25	22 (88%)	3 (12%)	0 (0%)
ТН5	31	24 (77%)	4 (13%)	3 (10%)

Т - сегменты в области туннеля (ТН1,2^{S2,3,4}; ТН3^{S2,3}; ТН4^{S3m}; ТН5^{S4});
У - удаленные сегменты (ТН1^{S5,6}, ТН2^{S1,5}; ТН3$^{S1m+S1s}$; ТН4^{S3s}; ТН5^{S5})

При ТН1 и ТН2 утолщение сегментов нерва в области туннеля (S2-выход, S3-туннель, S4-вход) происходило неравномерно (рис. 10).

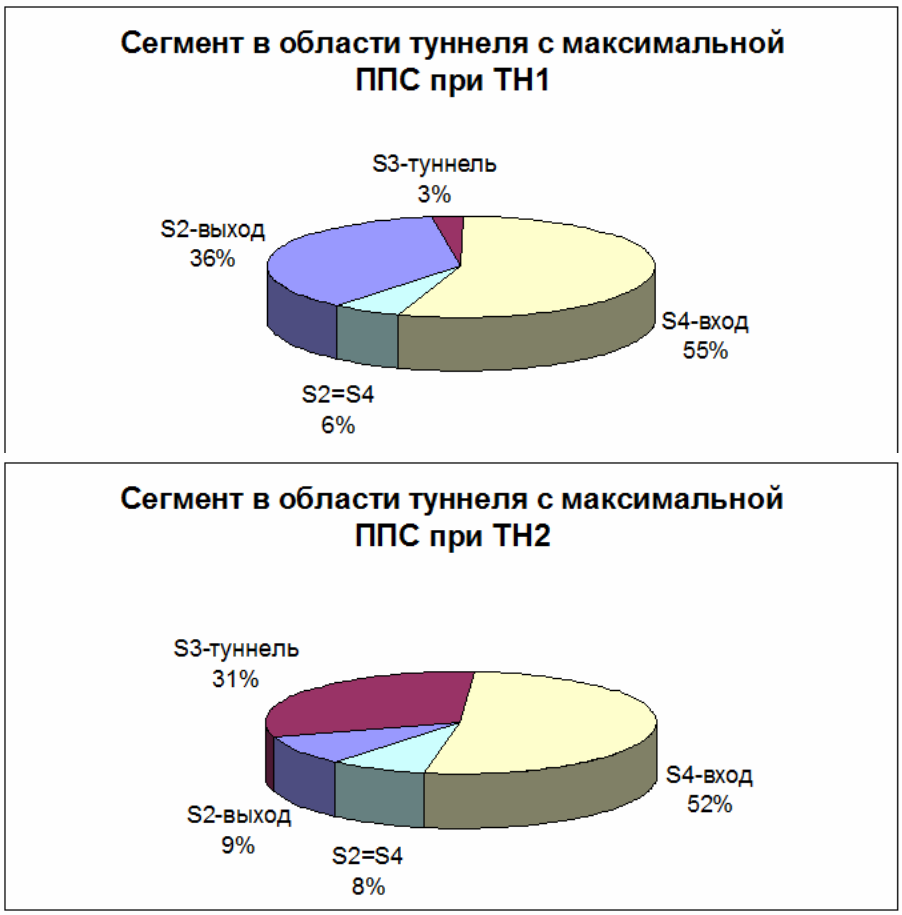


Рис. 10. Локализация максимальной ППС в области туннеля при карпальном (ТН1) и кубитальном (ТН2) туннельных синдромах.

Как следует из представленных данных, при обеих ТН в большинстве случаев (52-55%) утолщение нерва на входе в туннель (S4-вход) было более выраженным, чем в туннеле и на выходе из него (S2-выход, S3-туннель). Однако в значительном числе наблюдений уровень максимального утолщения нерва определяли в других сегментах. Так при ТН1 в 36% случаев (73 из 201) максимальное значение ППС срединного нерва получили на выходе из туннеля (S2) и в 3% (6 из 201) - в самом туннеле (S3). При ТН2 в 31% случаев (34 из 110) уровень максимального утолщения локтевого нерва определили в надмыщелково-локтевом желобе (S3) и в 9% (10 из 110) - в расположенном дистальнее кубитальном канале (S2). При обеих ТН в 6-8% наблюдений максимальные значения ППС двух или трех сегментов нерва в области туннеля были равны.

При сопоставлении величины ППС на входе в туннель и выходе из него утолщение нерва на входе было более выраженным, что определялось при ТН1 в 56%, а при ТН2 в 82% случаев. Величина максимальной ППС смежных сегментов (S2,S4) превышала аналогичный показатель в туннеле (S3) в 96,5% случаев ТН1, и 61,8% случаев ТН2.

При сопоставлении ППС срединного нерва со скоростью сенсорного проведения и ППС локтевого нерва со скоростью моторного проведения получили достоверные ($p < 0,0001$) коэффициенты -0,72 и -0,74 соответственно, что свидетельствует о наличии очень высокой обратной корреляционной взаимосвязи между исследуемыми параметрами. Как следует из представленных данных, скорость проведения по сенсорным и моторным волокнам снижается при увеличении ППС нерва (рис. 11).

При статистической обработке данных для всех ТН получили достоверные ($p < 0,01$) различия величины ППС (табл. 10), а также индексов утолщения нерва (табл. 11) между основной и контрольной группами.

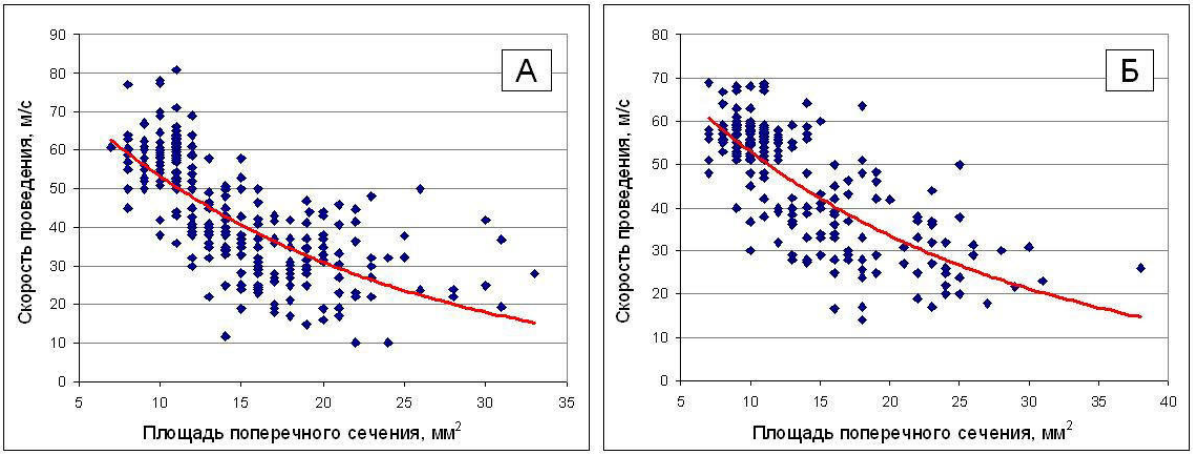


Рис. 11. (А) Корреляция между ППС срединного нерва и скоростью сенсорного проведения (r = –0,72); (Б) Корреляция между ППС локтевого нерва и скоростью моторного проведения (r = –0,74).

Таблица 10

ППС сегментов нерва (мм^2) в основной и контрольной группах

Сегмент	Контрольная группа	Основная группа	P
TH1 *(сдавление срединного нерва в канале запястья)*	n=135	n=201	
S1	7,2 ± 0,14 (4 - 13) 7 (6 - 8)	12,4 ± 0,3 (5-31) 12 (9-15)	< 0,001
S2	8,9 ± 0,14 (4 - 16) 9 (8 - 10)	15,5 ± 0,35 (4-33) 15 (12-18)	< 0,001
S3	8,8 ± 0,12 (5 - 12) 9 (8 - 10)	11,4 ± 0,22 (6-28) 11 (9-13)	< 0,001
S4	10,1 ± 0,11 (7 - 15) 10 (9 - 11)	16,7 ± 0,38 (8-34) 16 (13-20)	< 0,001
S5	7,1 ± 0,1 (5 - 10) 7 (6 - 8)	7,6 ± 0,11 (5-16) 8 (7-8)	< 0,01
S6	8,9 ± 0,09 (5 - 11) 9 (8 - 9)	10,6 ± 0,16 (6-15) 10 (9-12)	< 0,001
S2-4max	10,3 ± 0,11 (7–16) 10 (10–11)	18,5 ± 0,38 (8–34) 18 (14–21)	< 0,001

Данные представлены в виде «M±m (Min-Max)/Me (LQ–UQ)», где M - среднее значение, m - стандартная ошибка среднего, (Min - Max) - минимальное и максимальное значения, Me - медиана, (LQ - UQ) - интерквартильный размах.

Продолжение таблицы 10

ППС сегментов нерва ($мм^2$) в основной и контрольной группах

Сегмент	Контрольная группа	Основная группа	P
TH2 *(сдавление локтевого нерва в кубитальной области)*			
	n=141	n=110	
S1	6,3 ± 0,1 (3–10) 6 (5–7)	7,5 ± 0,24 (4-18) 7 (6-8)	< 0,001
S2	8,0 ± 0,12 (5–11) 8 (7–9)	11,1 ± 0,36 (5-24) 10 (8-13)	< 0,001
S3	9,2 ± 0,13 (5–14) 9 (8–10)	14,8 ± 0,49 (7-38) 14 (11-17)	< 0,001
S4	9,7 ± 0,14 (6–18) 10 (9–11)	15,8 ± 0,57 (7-43) 15 (12-18)	< 0,001
S5	7,4 ± 0,1 (5–11) 7 (7–8)	8,4 ± 0,17 (5-13) 8 (7-9)	< 0,001
S2-4max	10,1 ± 0,14 (7–18) 10 (9–11)	17,8 ± 0,58 (7-43) 16 (14-22)	< 0,001
TH3 *(сдавление лучевого нерва в области плеча)*			
	n=35	n=35	
S1m	2 ± 0,06 (1-3) 2 (2-2)	4,4 ± 0,47 (2-12) 3 (2-6)	< 0,001
S1s	1,5 ± 0,08 (1-2) 1,5 (1-2)	2,9 ± 0,27 (1,5-9) 2 (2-3)	< 0,001
S2	5,4 ± 0,17 (4-8) 5 (5-6)	10,1 ± 0,64 (5-19) 8 (7-14)	< 0,001
S3	5,5 ± 0,18 (4-8) 5 (5-6)	15,7 ± 1,25 (6-34) 14 (9-21)	< 0,001
S2-3max	5,8 ± 0,18 (4-8) 6 (5-7)	15,8 ± 1,25 (6-34) 14 (9-21)	< 0,001
TH4 *(сдавление глубокой (двигательной) ветви лучевого нерва)*			
	n=25	n=25	
S3m	2,1 ± 0,14 (1-4) 2 (2-2)	6 ± 0,69 (2-16) 6 (3-8)	< 0,001
S3s	1,3 ± 0,11 (1-3) 1 (1-2)	2,5 ± 0,35 (1-9) 2 (2-3)	< 0,001
S4	5,2 ± 0,22 (3-7) 5 (5-6)	6,6 ± 0,4 (4-14) 6 (5-8)	< 0,001
S5	7,4 ± 0,82 (4-22) 6 (5-8)	5,1 ± 0,23 (4-8) 5 (4-6)	< 0,001

Продолжение таблицы 10

ППС сегментов нерва ($мм^2$) в основной и контрольной группах

Сегмент	Контрольная группа	Основная группа	P
TH5 *(сдавление локтевого нерва в канале Гюйона)*			
	n=28	n=31	
S3m	2,2 ± 0,09 (1-3) 2 (2-2)	2,8 ± 0,18 (2-6) 2 (2-3)	< 0,01
S3s	1,6 ± 0,09 (1-2) 2 (1-2)	2,3 ± 0,1 (2-4) 2 (2-3)	< 0,001
S4	5,7 ± 0,1 (5-7) 6 (5-6)	9,2 ± 0,91 (5-25) 8 (6-10)	< 0,001
S5	5,2 ± 0,15 (4-8) 5 (5-6)	6,2 ± 0,19 (5-8) 6 (5-7)	< 0,001

Данные представлены в виде «M±m (Min-Max)/Me (LQ–UQ)», где M - среднее значение, m - стандартная ошибка среднего, (Min - Max) - минимальное и максимальное значения, Me - медиана, (LQ - UQ) - интерквартильный размах.

Таблица 11

Индексы утолщения нерва в основной и контрольной группах

Сегмент	Контрольная группа	Основная группа	P
TH1 *(сдавление срединного нерва в канале запястья)*			
	n=135	n=201	
S2-4max/S5	1,5 ± 0,02 (1–2,2) 1,4 (1,3–1,6)	2,5 ± 0,06 (1,1-5,5) 2,3 (1,9-2,9)	< 0,001
TH2 *(сдавление локтевого нерва в кубитальной области)*			
	n=141	n=110	
S2-4max/S1	1,7 ± 0,03 (1–3,7) 1,6 (1,4–1,8)	2,5 ± 0,09 (1,1-5,2) 2,4 (1,8-3)	< 0,01
S2-4max/S5	1,4 ± 0,02 (1–2,2) 1,4 (1,3–1,5)	2,2 ± 0,07 (1-4,7) 2 (1,6-2,7)	< 0,01
TH3 *(сдавление лучевого нерва в области плеча)*			
	n=35	n=35	
S3/S2	1,0 ± 0,03 (0,8-1,4) 1 (0,9-1,2)	1,6 ±0,09 (0,9-3,6) 1,5 (1,1-1,8)	< 0,001

Продолжение таблицы 11

Индексы утолщения нерва в основной и контрольной группах

Сегмент	Контрольная группа	Основная группа	P
ТН4 *(сдавление глубокой (двигательной) ветви лучевого нерва)*			
	n=25	n=25	
S3m/S3s	1,7 ± 0,1 (1-3) 2 (1-2)	2,6 ± 0,27 (1-6) 2 (2-3,5)	< 0,01
S3m/S4	0,4 ± 0,03 (0,2-0,8) 0,4 (0,3-0,5)	0,9 ± 0,09 (0,3-2) 0,8 (0,6-1,2)	< 0,001
S3m/S5	0,4 ± 0,03 (0,2-0,8) 0,4 (0,3-0,5)	0,9 ±0,09 (0,2-1,8) 0,8 (0,5-1,2)	< 0,001
ТН5 *(сдавление локтевого нерва в канале Гюйона)*			
	n=28	n=31	
S4/S5	1,1 ± 0,04 (0,8 - 1,8) 1 (1-1,2)	1,5 ±0,12 (0,8-3,5) 1,3 (1,1-1,5)	< 0,01
S4/S6	0,8 ± 0,03 (0,6-1,2) 0,8 (0,7-1)	1,3 ± 0,16(0,6-4,2) 1 (0,9-1,3)	< 0,01

Данные представлены в виде «M±m (Min-Max)/Me (LQ–UQ)», где M - среднее значение, m - стандартная ошибка среднего, (Min - Max) - минимальное и максимальное значения, Me - медиана, (LQ - UQ) - интерквартильный размах.

Для ТН1 и ТН2 получили достоверные ($p < 0,05$) различия ППС в зависимости от степени, а для ТН2 - от типа поражения нерва (рис. 12). Как следует из представленных данных, ППС локтевого нерва при аксональном типе поражении достоверно ($p < 0,001$) больше, чем при демиелинизирующем.

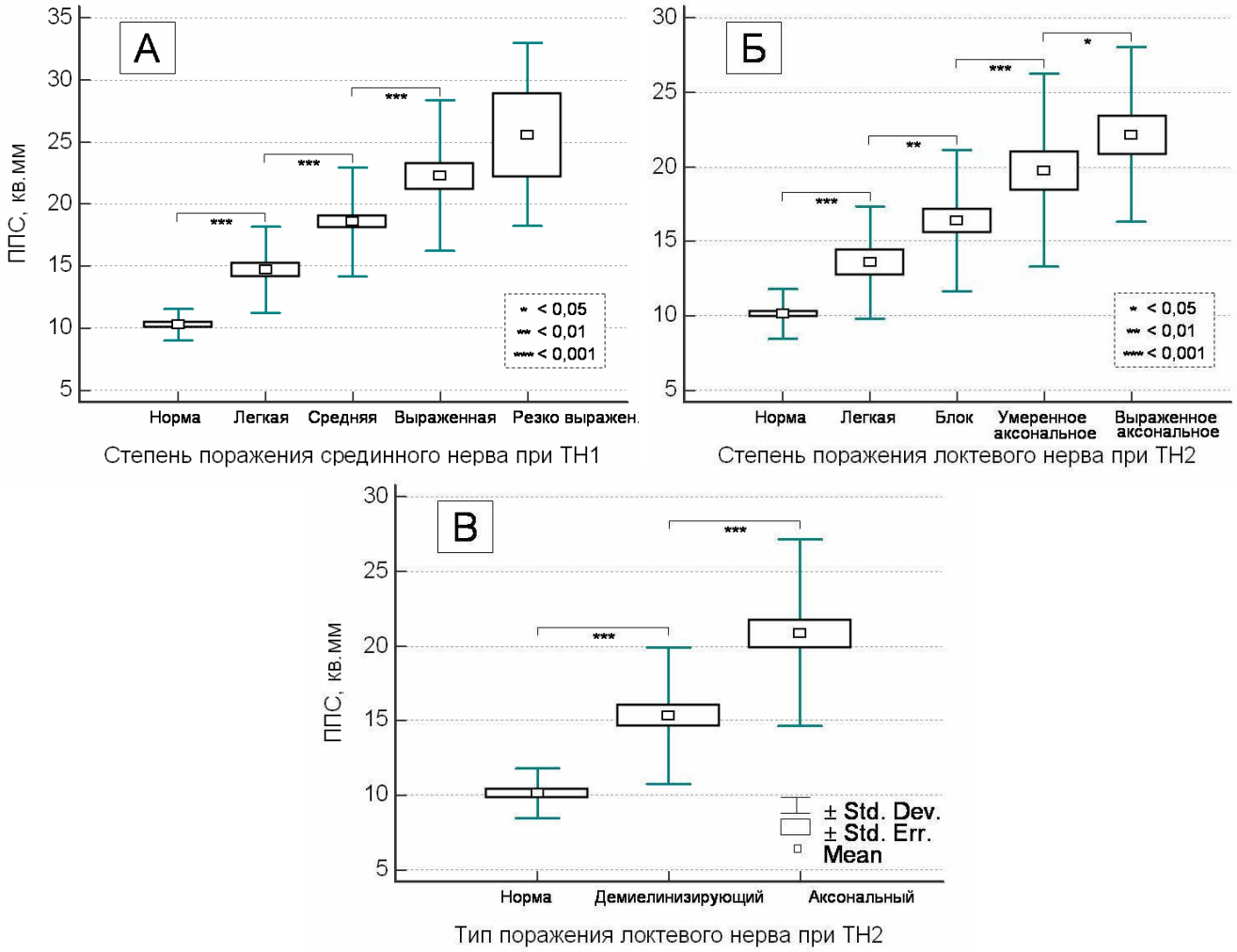


Рис. 12. ППС срединного нерва в области запястья в зависимости от степени его поражения при ТН1 (А). ППС локтевого нерва в кубитальной области в зависимости от степени (Б) и типа (В) его поражения при ТН2.

Для оценки исходной диагностической эффективности ультразвукового измерения ППС рассчитали величину площади под ROC-кривой (AUC) для каждого сегмента срединного, локтевого и лучевого нервов. Значения AUC сегментов в области туннеля (S2-выход, S3-туннель, S4-вход) значительно превысили аналогичный показатель удаленных сегментов (рис. 13).

При ТН1 и ТН2 после объединения наиболее чувствительных сегментов (S2-выход, S3-туннель, S4-вход) в один сегмент S2–4max, который по протяженности соответствует участку нерва, оцениваемому при стандартной ЭНМГ, получили более высокие значения AUC (ТН1 – 0,974; ТН2 – 0,928),

используя в качестве показателя максимальное значение ППС, найденное на объединенном отрезке.

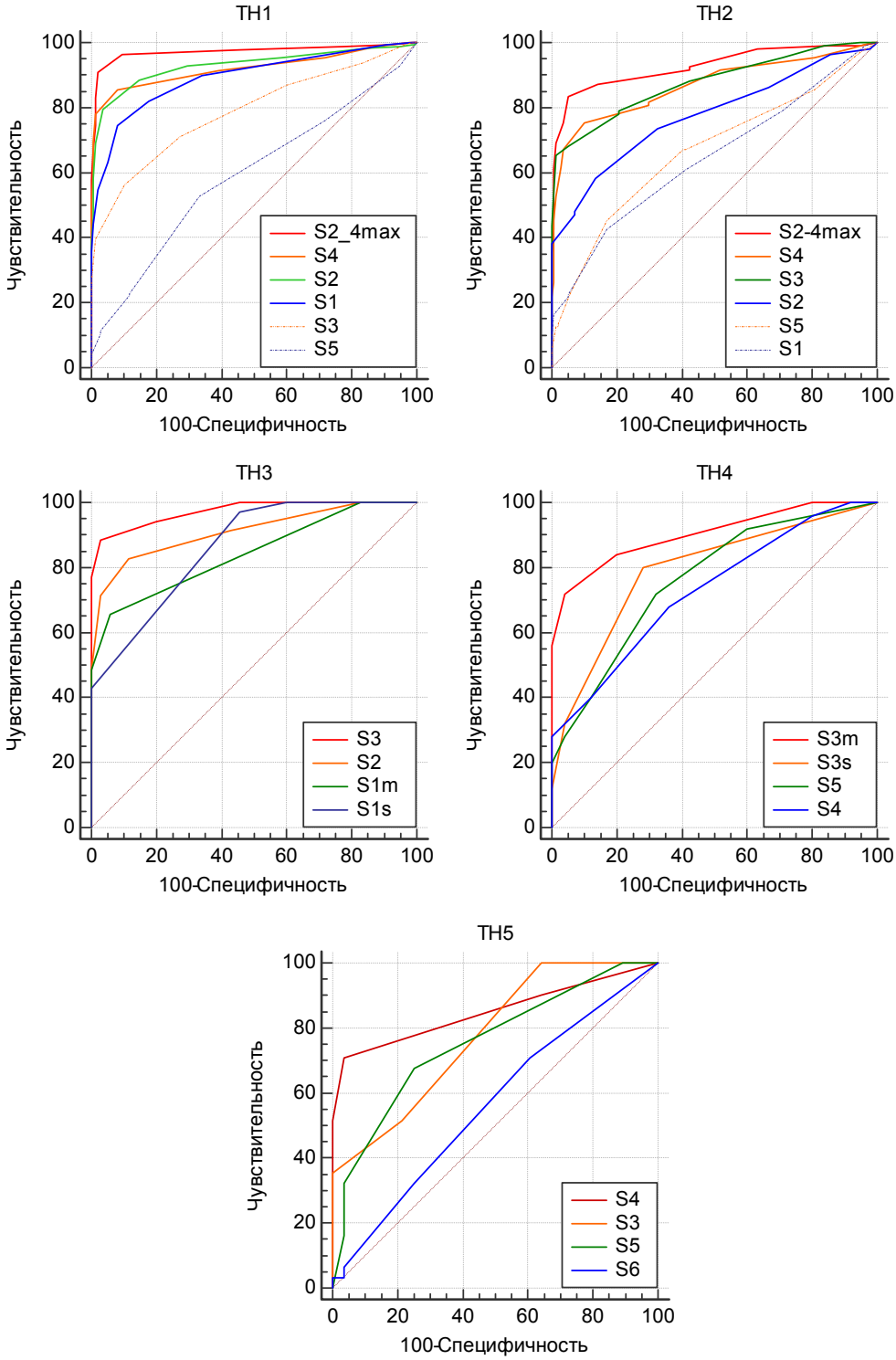


Рис. 13. Сопоставление ROC-кривых различных сегментов нерва. Наибольшая площадь под кривой при TH1 и TH2 в сегменте S2-4max, при TH3 - S3, TH4 - S3m, TH5 - S4.

Для ТН1 получили достоверные ($p < 0,01$) различия величины индекса деформации нерва, а также степени ладонного смещения и толщины ретинакулума карпального канала (retinaculum flexorum) между основной и контрольной группами (табл. 12).

Таблица 12

Индекс деформации нерва и изменение ретинакулума при ТН1

Показатель	Контрольная группа	Основная группа	P
Индекс деформации (dmax / dmin)*	3,1 ± 0,06 (1,8–5,5) 3 (2,7–3,3)	3,3 ± 0,05 (1,1–6,2) 3,3 (2,8–3,7)	< 0,01
Ладонное смещение ретинакулума на уровне гороховидной кости (мм)	2,3 ± 0,09 (0–4,9) 2,2 (1,7–2,9)	4,1 ± 0,09 (0–7,9) 4,1 (3,4–5,0)	< 0,001
Ладонное смещение ретинакулума на уровне крючковидной кости (мм)	1,2 ± 0,08 (0–4,3) 1 (0,8–1,7)	2,4 ± 0,08 (0–8,5) 2,2 (1,7–3,0)	< 0,001
Толщина ретинакулума на уровне крючковидной кости (мм)	1,2 ± 0,02 (0,7–2,4) 1,1 (1–1,3)	1,6 ± 0,03 (0,5–4,0) 1,6 (1,4–1,9)	< 0,001

Данные представлены в виде «M±m (Min-Max)/Me (LQ–UQ)», где M - среднее значение, m - стандартная ошибка среднего, (Min - Max) - минимальное и максимальное значения, Me - медиана, (LQ - UQ) - интерквартильный размах.
* dmax - максимальный диаметр (ширина), dmin - минимальный диаметр (толщина) среза срединного нерва на уровне крючковидной кости.

При сравнительном ROC-анализе показателей ладонного смещения ретинакулума карпального канала значение площади под кривой для измерений на уровне гороховидной кости (AUC 0,868), было больше чем аналогичный показатель на уровне крючковидной кости (AUC 0,793) (рис. 14).

Методом построения классификационных деревьев выявили пороговые значения ППС, индексов утолщения и деформации нерва, а также ладонного смещения ретинакулума для разделения нормы и патологии. Следует отметить, что полученные показатели полностью совпали с результатами

ROC-анализа (рис.15, табл. 13). Как следует из представленных данных, выявленые пороговые значения ППС нерва при различных ТН верхней конечности обладают высоким уровнем диагностической эффективности со значениями AUC в пределах от 0,851 до 0,974. Уровень информативности индексов утолщения нерва, полученных для диагностики ТН1-4, мы определили как высокий (AUC от 0,811 до 0,928), а для ТН5 - средний (AUC 0,762). Диагностическая эффективность индекса деформации срединного нерва при ТН1 (AUC 0,616) относительно невысока.

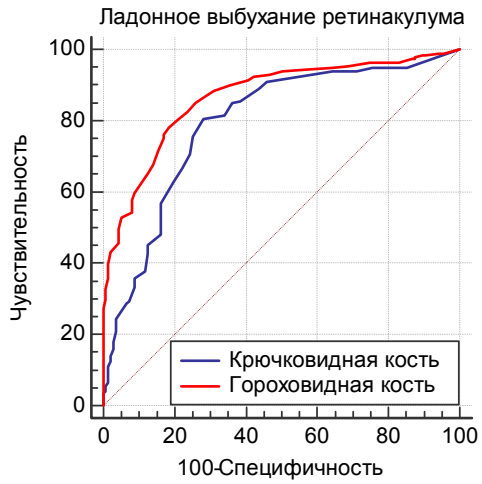


Рис. 14. Сопоставление ROC-кривых показателей ладонного смещений проксимального и дистального отделов ретинакулума карпального канала. Наибольшая площадь под кривой при измерении на уровне гороховидной кости.

При ТН1 в 10,9% случаев (22 из 201) утолщение сегмента на выходе из туннеля (S2-выход) было единственным проявлением невропатии так как величина ППС в туннеле и на входе в него (S3-туннель, S4-вход) не превышала выявленного порогового значения. Утолщение нерва на входе в туннель (S4-вход) сочеталось с утолщением других сегментов (S2-выход, S3-туннель) в 69,7% случаев и только в 18,9% (38 из 201) определялось как самостоятельный признак.

При ТН2 утолщение нерва на входе в туннель (S4-вход) сочеталось с увеличением ППС других сегментов (S2-выход, S3-туннель) в 73,6% случаев

и только в 12,7% наблюдений (14 из 110) определялось как самостоятельный симптом.

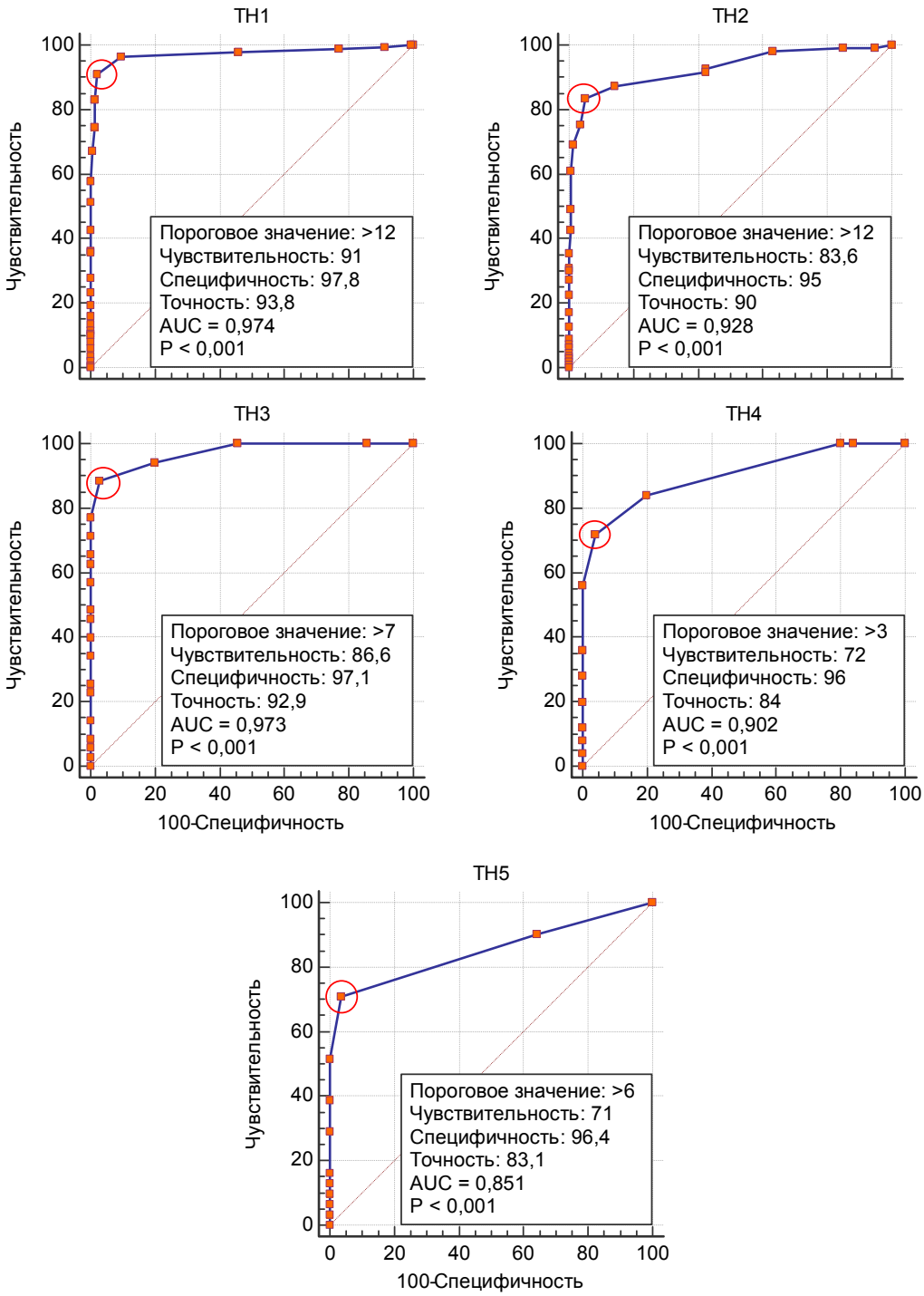


Рис. 15. ROC-кривые информативности ППС нерва для диагностики ТН верхней конечности (ТН1 и ТН2 объединенный сегмент S2-4max, ТН3 - сегмент S3, ТН4 - сегмент S3m, ТН5 - сегмент S4).

Таблица 13

Пороговые значения поперечных размеров нерва для диагностики ТН верхней конечности

Параметр	Поражение нерва	Пороговое значение	Чувствительность	Специфичность	Точность	AUC
ТН1 *(сдавление срединного нерва в канале запястья)*						
ППС S2-4max, мм^2	Легкое	>12	91,0	97,8	93,8	0,974
ППС S2-4max, мм^2	Среднее	>13	92,1	84,2	87,8	0,938
ППС S2-4max, мм^2	Выраженное	>16	83,7	72,7	74,1	0,857
Индекс утолщения (S2-4max /S5)	Легкое	>1,7	86,6	85,2	86	0,928
Индекс деформации (dmax / dmin)	Легкое	>3,2	50,3	71,1	58,6	0,616
Смещение ретинакулума, мм*	Легкое	>3,0	80,1	79,3	79,8	0,868
Толщина ретинакулума, мм	Легкое	>1,3	76,2	79,3	77,4	0,827
ТН2 *(сдавление локтевого нерва в кубитальной области)*						
ППС S2-4max, мм^2	Легкое	>12	83,6	95,0	90,0	0,928
ППС S2-4max, мм^2	Аксональное	>15	82,0	86,6	85,7	0,925
Индекс утолщения (S2-4max /S1)	Легкое	>1,8	73,6	83,7	79,3	0,811
Индекс утолщения (S2-4max /S5)	Легкое	>1,6	72,7	89,4	82,1	0,861
ТН3 *(сдавление лучевого нерва в области плеча)*						
ППС S3, мм^2	Легкое	>7	88,6	97,1	92,9	0,973
Индекс утолщения (S3/S2)	Легкое	>1,25	68,6	91,4	80,0	0,858
ТН4 *(сдавление глубокой (двигательной) ветви лучевого нерва)*						
ППС S3m, мм^2	Легкое	>3	72,0	96,0	84,0	0,902
Индекс утолщения (S3m/S4)	Легкое	>0,5	80,0	84,0	82,0	0,848
ТН5 *(сдавление локтевого нерва в канале Гюйона)*						
ППС S4, мм^2	Легкое	>6	71,0	96,4	83,1	0,851
Индекс утолщения (S4/S6)	Легкое	>1	48,4	96,4	71,2	0,762

* Ладонное смещение ретинакулума карпального канала (retinaculum flexorum) на уровне гороховидной кости

В качестве примера приводим следующие наблюдения:

Пациентка Н., 40 лет. Правша. Направлена неврологом на УЗИ нервов верхних конечностей с клиническим диагнозом: левосторонний синдром карпального канала. Пациентка предъявляла жалобы на онемение II-IV пальцев левой кисти. Данные жалобы беспокоят в течение тех лет. В течение последнего года отмечает ухудшение.

При ЭНМГ выявлено нарушение проведения по сенсорным и моторным волокнам срединного нерва в области запястного канала слева соответствующее средней степени тяжести поражения: снижение скорости сенсорного проведения до 32м/с (норма ≥ 50м/с), увеличение латентности М-ответа до 4,4мс (норма ≤ 4,2мс).

При УЗИ: Левый срединный нерв на протяжении от аксиллярной области до запястья нормальной эхоструктуры, не утолщен, ППС до 8мм^2. В области запястья эхогенность и степень волокнистой дифференцировки нерва снижены, ствол нерва неравномерно утолщен с максимальным значением ППС - 25мм^2 на входе в карпальный канал (норма ≤ 12). Индекс утолщения нерва на запястье в сравнении с сегментом на предплечье - 3,1 (норма ≤ 1,7). Индекс деформации нерва на уровне крючковидной кости - 2,9 (норма ≤ 3,2). Ладонное смещение ретинакулума (retinaculum flexorum) на уровне гороховидной кости - до 6мм (норма ≤ 3,0), на уровне крючковидной кости - до 1,4мм. На уровне лучезапястного сустава к заднему контуру срединного нерва тесно прилежит гиперэхогенное образование овальной формы, с ровными, четкими контурами, однородной структурой, аваскулярное при ЦДК, размерами 29х9х19мм. Образование смещает срединный нерв кпереди с компрессией и деформацией его о проксимальный край ретинакулума карпального канала (рис. 16). Заключение: УЗ-картина липомы в проксимальной части карпального канала с признаками сдавления левого срединного нерва.

Выполнена плановая операция - декомпрессия срединного нерва на уровне карпального канала, удаление образования. Протокол операции:

После проведения проводниковой анестезии произведен разрез кожи в лучезапястной области в проекции левого срединного нерва. Осуществлен доступ к срединному нерву. Сразу выше карпального канала ствол нерва значительно утолщен. При входе в карпальный канал на стволе нерва отчетливо визуализируется странгуляционная борозда. Установлен операционный микроскоп CZ, увеличение х2-12. Рассечен эпиневрий, выявлена граница между нервом и тканью опухоли, которая располагается по заднему контуру нервного ствола, интимно с ним спаяна. Опухолевая ткань желтого цвета, в капсуле, поэтапно отделена от нерва и полностью удалена. Срединный нерв располагается свободно. Гемостаз. Послойный шов раны. Гистологическое исследование удаленного образования: фибролипома.

Обсуждение: В представленном случае у пациентки с атипичными проявлениями синдрома карпального канала (поражение недоминантной руки) результаты КЭФИ были дополнены данными лучевого обследования. При этом определяемый по результатам КЭФИ уровень поражения подтвердился при УЗИ фокальным утолщением срединного нерва в области запястья. Однако детальный анализ УЗ-изображений позволил более точно определить место сдавления нерва, локализовав его по проксимальному краю ретинакулума, где в отличие от дистальных отделов были выявлены деформация нервного ствола и расширение туннеля (ладонное смещение ретинакулума). Кроме этого визуальное сопоставление участка деформации контура нерва с выявленным при осмотре туннеля объемным образованием позволило сделать вывод о причине развития ТН.

Таким образом, полученная при КЭФИ информация о функциональных нарушениях срединного нерва на уровне запястного сегмента была дополнена морфологическими данными, позволившими не только уточнить уровень, но и определить причину поражения, скорректировать тактику ведения пациента и, минуя предварительный консервативный этап, прибегнуть к оперативному лечению. При этом на основании данных УЗИ объем операции был расширен и, помимо стандартной хирургической

декомпрессии карпального канала, выполнено удаление интраневрального образования, провоцирующего сдавление нерва.

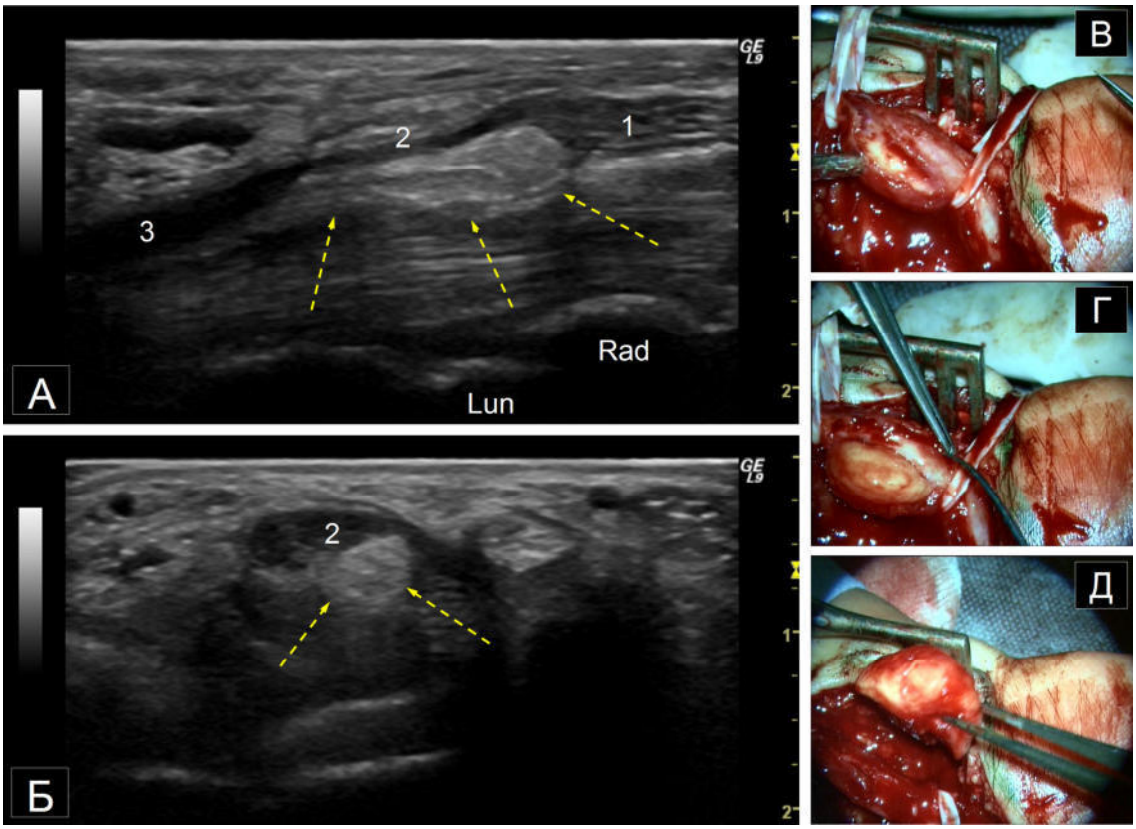


Рис. 16. Липома (стрелки) в карпальном канале на УЗ-срезах в сагитальной (А) и аксиальной (Б) плоскостях. Сегменты срединного нерва проксимальнее (1) и дистальнее (3) образования. Уровень максимальной компрессии (деформации) нерва (2). Передний контур лучевой (Rad) и полулунной (Lun) костей. Этапы удаления интраневрального образования (В-Д).

Пациент М., 67 лет. Направлен неврологом на УЗИ нервов верхних конечностей с клиническим диагнозом: Плечевая плексопатия слева? Синдром передней лестничной мышцы (Наффцигера) слева? Невропатия левого локтевого нерва? Радикулопатия С8 с корешковым синдромом слева? Пациент предъявлял жалобы на онемение IV,V пальцев, слабость левой кисти, боли в передне-латеральной области шеи, жжение по наружной поверхности левого плеча. Считает себя больным в течение одного месяца. При осмотре: гипестезия IV,V пальцев, снижение силы при отведении мизинца левой кисти, положителен симптом Вартенберга слева.

При ЭФИ: Выявлено умеренно выраженное аксональное поражение левого локтевого нерва на уровне локтевого сгиба со снижением скорости моторного проведения до 40м/с (норма ≥ 51м/с), снижением амплитуды М-ответа при стимуляции дистально до 3,8мВ (норма ≥ 4,0мВ), функционально значимой денервацией первой межкостной мышцы и мышцы отводящей мизинец.

При УЗИ: Левый локтевой нерв на протяжении от аксиллярной области до запястья нормальной эхоструктуры, не утолщен, ППС до 5-6мм2, в кубитальной области - до 9мм^2 (норма ≤ 12, контрлатерально до 10мм^2). При функциональном тесте данных за дислокацию нерва из надмыщелково-локтевого желоба нет. В области запястья эхогенность и степень волокнистой дифференцировки локтевого нерва снижены, ствол нерва неравномерно утолщен с максимальным значением ППС на уровне гороховидной кости - 8мм^2 (норма ≤ 6; контрлатерально до 5мм^2), суммарной ППС ветвей на уровне крючковидной кости - 9мм^2 (контрлатерально до 3мм^2), Индекс утолщения нерва на запястье в сравнении с сегментом на предплечье - 1,8 (норма ≤ 1,0). В дистальной части канала, на уровне крючковидной кости определяется тонкостенная, многокамерная киста с анэхогенным содержимым, аваскулярная при ЦДК. Киста смещает ствол и ветви локтевого нерва кпереди с компрессией о фиброзную крышу туннеля (рис. 17). Киста распространяется в тыльные отделы запястья, визуализируется частями. Общий размер кисты ~ 25х9х12мм. Слева определяются признаки атрофии первой межкостной мышцы кисти и мышцы отводящей мизинец. Заключение: УЗ-признаки ганглиевой кисты сдавливающей ствол и ладонные ветви левого локтевого нерва в канале Гюйона. Атрофия мышц в зоне дистальной иннервации левого локтевого нерва. УЗ-данных за поражение левого локтевого нерва в кубитальной области нет. Для уточнения размеров и распространенности кисты рекомендовано МРТ запястья и кисти.

При МРТ: На серии томограмм левого лучезапястного сустава в трех проекциях с жироподавлением по локтевой поверхности запястья

определяется кистовидное образование неправильной формы, распространяющееся от гороховидной кости под крючковидную кость и далее в тыльном направлении до основания V пястной кости. Общий размер кисты 23х7х10мм. Заключение: МРТ признаки ганглиевой кисты в канале Гюйона слева.

Выполнена плановая операция - декомпрессия левого локтевого нерва на уровне канала Гюйона. Протокол операции: После проведения проводниковой анестезии произведён разрез кожи в лучезапястной области в проекции локтевого нерва. Осуществлён доступ к локтевому нерву. При входе в Гюйонов канал на нерве отчётливо визуализируется странгуляционная борозда, ствол нерва значительно утолщен. Связка крючковидной кости рассечена. Нерв вывихнут из канала Гюйона. На этом операцию решено закончить. Гемостаз. Рана послойно ушита без дренажа.

Контрольный осмотр через четыре месяца после операции: Жалоб нет. Восстановились кожная чувствительность, сила и объем мышц в зоне дистальной иннервации левого локтевого нерва.

Обсуждение: В представленном наблюдении у пациента с признаками поражения локтевого нерва результаты КЭФИ были не только дополнены, но и скорректированы данными лучевого обследования. Определяемые при УЗИ фокальное утолщение дистальных отделов локтевого нерва, в сочетании с кистой в канале Гюйона позволили предположить, что основной уровень поражения, развивающегося по механизму ТН (ущемление нерва в узком туннеле) локализуется на запястье. При УЗИ поперечные размеры и структура локтевого нерва в кубитальной области были нормальными, что не характерно для ТН проявляющейся, обычно, устойчивым отеком и утолщением сегментов смежных с зоной ущемления. Однако такая УЗ-картина типична для поражения нерва в кубитальном канале на фоне эпизодов внутреннего сжатия при сгибании руки в локте. Этот вариант КИН не требует хирургической коррекции и может разрешаться самостоятельно на фоне модификации активности конечности и ее эргономичного

положения. При этом клинико-электрофизиологические признаки проксимального поражения могут маскировать более грубый дистальный дефект, не позволяя правильно определить уровень проведения хирургической декомпрессии.

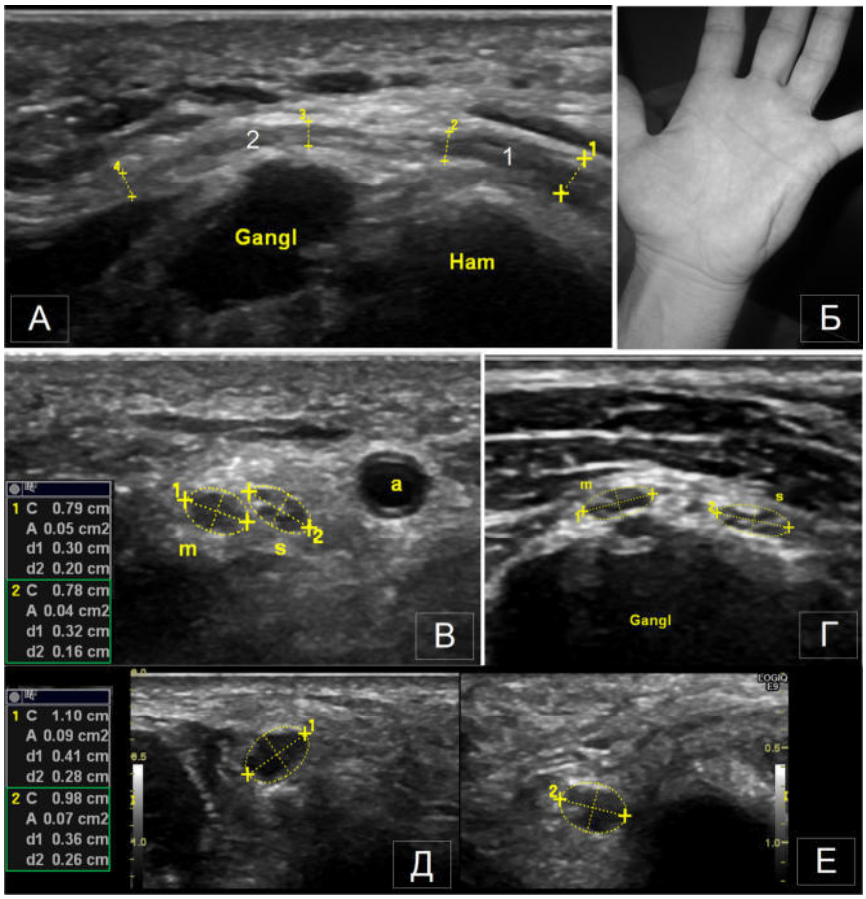


Рис. 17. Ганглиевая киста (Gangl) в канале Гюйона на УЗ-срезах в сагитальной (А) и аксиальной (Г) плоскостях. Сегменты локтевого нерва на уровнях крючковидной кости (1) и ганглиевой кисты (2) с соответствующими поперечными срезами (В,Г). Глубокая (m) и поверхностная (s) ветви локтевого нерва, крючковидная кость (Ham), локтевая артерия (a). ППС локтевого нерва на уровнях надмыщелково-локтевого желоба (Д) и кубитального канала (Е). Атрофия мышц в области гипотенара (Б).

Таким образом, в данном наблюдении информация о функциональных нарушениях локтевого нерва была в значительной мере дополнена морфологическими данными. УЗ-оценка состояния нервного ствола позволила из двух уровней вероятного поражения выбрать уровень, требующий хирургической коррекции. Кроме того, при осмотре туннеля была выявлена причина сдавления нерва.

Пациент А., 47 лет. Направлен нейрохирургом на УЗИ нервов верхних конечностей с клиническим диагнозом: синдром полного нарушения проведения по правому лучевому нерву.

Жалобы на момент поступления: невозможность разгибания запястья и пальцев, свисание правой кисти, снижение чувствительности в первом межпальцевом промежутке тыла правой кисти. Десять месяцев назад, после падения на улице был в экстренном порядке госпитализирован с диагнозом закрытый перелом средней трети правой плечевой кости со смещением. Выполнена операция - металлоостеосинтез стержнем правой плечевой кости. Через 7 месяцев - удаление стержня из правой плечевой кости.

При осмотре: Активные движения сохранны в плечевом суставе. Может сгибать и разгибать локтевой сустав. Правая кисть свисает. Сила мышц разгибателей правой кисти и пальцев 0 баллов. Чувствительность в первом межпальцевом промежутке снижена до 0 баллов.

При ЭФИ: Достоверного ответа при стимуляции правого лучевого нерва не получено. В мышцах разгибателей кисти и пальцев регистрируется только денервационная активность, потенциалы двигательных единиц не зарегистрированы. Признаки полного нарушения проводимости по правому лучевому нерву с уровня средней трети плеча.

При УЗИ: Определяется полный анатомический перерыв правого лучевого нерва в нижней трети плеча с диастазом до 18мм. Неврома в проксимальной культе.

Выполнена плановая операция - микронейрохирургический шов правого лучевого нерва.

Обсуждение: В представленном наблюдении у пациента с признаками полного нарушения проведения по правому лучевому нерву данные УЗИ позволили дифференцировать полный разрыв нервного ствола (рис. 18) от поражения протекающего с признаками полной потери аксонов при сохранении анатомической целостность нерва. Оба этих состояния проявляются одинаково при КЭФИ (синдром полного нарушения

проведения), однако в первые 6 месяцев после травмы требуют различной врачебной тактики - хирургической при нейротмезисе и выжидательной при аксонотмезисе.

Таким образом, данные УЗИ позволили подтвердить определенный по результатам КЭФИ уровень поражения нерва и определить степень его повреждения. В данном наблюдении это не повлияло на тактику ведения пациента, которая, учитывая сроки невропатии, в любом случае должна быть хирургической. Однако полученная информация учитывалась при планирования операции (локализация культей нерва, величина диастаза).

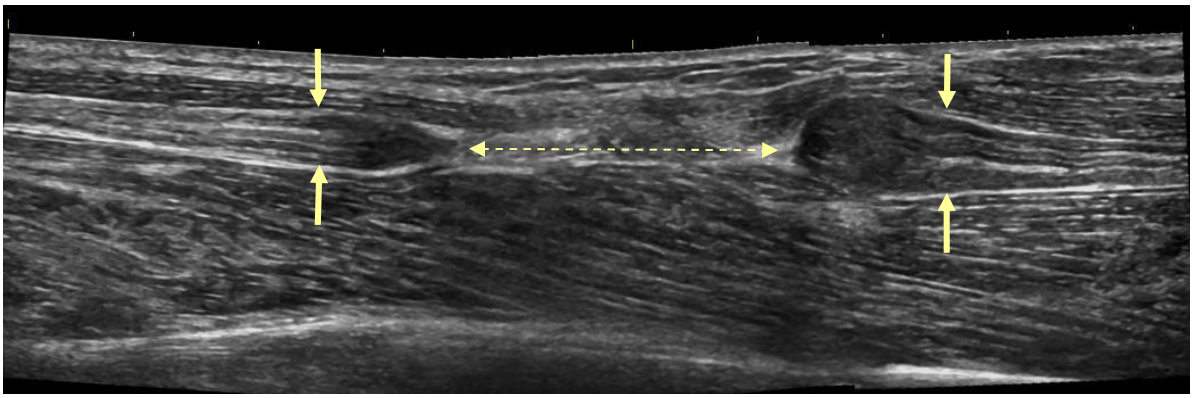


Рис. 18. Ультразвуковое изображение полного анатомического перерыва нерва (нейротмезис). Пунктирной линией показан диастаз культей нерва. Стрелки - проксимальная и дистальная культи нерва.

ГЛАВА 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

5.1. Обсуждение полученных результатов

Полученные в первой части исследования данные, подтверждающие точность УЗ-оценки поперечных размеров нервных стволов позволили во второй части исследования провести подробный анализ изменения ППС различных сегментов срединного, локтевого и лучевого нервов у пациентов с ТН.

Особенностью второй части исследования является, с одной стороны, формирование смешанной контрольной группы и, с другой стороны, жесткая система отбора в основную группу. При таком дизайне исследование имеет в большей степени практическую ценность. Использование в качестве контроля не только здоровых добровольцев, но и пациентов с ортопедической патологией и невропатиями других локализаций позволяет получить УЗ-критерии для диагностики ТН в потоке пациентов с близкими, трудно дифференцируемыми жалобами, а также избежать завышения диагностической точности теста [99]. Сочетание результатов клинического, анамнестического и электрофизиологического исследований, когда отрицательный ответ хотя бы в одном из них является поводом для исключения из основной группы приведет к неизбежной потере субклинических случаев, и, в первую очередь, ложноотрицательных результатов ЭФИ. При этом рассчитанные пороговые УЗ-критерии будут несколько завышены, что позволит в рутинном исследовании избежать ложноположительных результатов и добиться высокой степени специфичности с определенной потерей чувствительности. Учитывая то, что в большинстве диагностических алгоритмов данные УЗИ рассматриваются, как дополнение к результатам КЭФИ, недостаток будет компенсирован при комплексной оценке.

5.1.1. Оценка точности УЗ-измерений периферических нервов in vivo

Результаты, полученные нами при сопоставлении измерений нервов in vivo методами УЗ- и прямой интраоперационной визуализации, дополняют аналогичные работы, выполненные in vitro [143, 279] и на трупах [135, 256]. В данных исследованиях сначала эхографически оценивали нативные образцы нервов. На следующем этапе для получения качественных срезов исследуемый материал подвергали обработке с фиксацией в формалине при гистологическом исследовании или заморозке при криомикротомии, что не исключает возможности изменения размеров нерва. В единичных на сегодняшний день исследованиях in vivo основное внимание уделяется подтверждению точности УЗ-оценки продольных размеров нерва [44, 59], необходимых для описания полного разрыва и недостаточных при диагностике невропатий, проявляющихся утолщением нервного ствола [30]. Исследования по сопоставлению результатов измерений поперечных размеров нерва in vivo методами прямой и ультразвуковой визуализации в доступной литературе не обнаружены. Наши результаты позволяют дополнить исследования, обосновывающие методику УЗ-визуализации периферических нервов. Работы по сопоставлению результатов измерений нерва при УЗИ и МРТ проводились неоднократно [92, 325, 42], однако, в связи с постоянным обновлением и усовершенствованием технического и программного обеспечения эти данные требуют периодического уточнения.

При сопоставлении результатов УЗ-измерений нервов с другими методами мы получили очень высокие достоверные ($p < 0,0001$) коэффициенты линейной корреляции Пирсона, которые показывают согласованность между конкретными парами значений. Значения коэффициентов линейной корреляции совпадали со значениями достоверных ($p < 0,0001$) коэффициентов ранговой корреляции Спирмена, что подтверждает полученные высокие зависимости. При этом относительная величина расхождения и в среднем и по медиане не превышает 4% и варьирует в пределах от нуля до 3,7%.

При сопоставлении результатов интраоперационных и УЗ измерений достоверные ($p < 0,0001$) коэффициенты линейной корреляции Пирсона и ранговой корреляции Спирмена составили +0,95. Результаты, полученные при непосредственном измерении нерва в ране, были стабильно больше соответствующих им измерений при УЗИ (среднее +3,7%, медиана +2,8%), что объясняется особенностями УЗ визуализации нерва и методикой его измерения. Эхографическая плотность внешних оболочек нерва близка плотности окружающей периневральной клетчатки, что не позволяет четко дифференцировать истинный наружный контур нервного ствола. Поэтому общепринятая методика УЗИ предполагает исключение наружного гиперэхогенного ободка (наружного эпиневрия) и измерение только отчетливо дифференцируемого гипоэхогенного тяжа, соответствующего близко расположенным пучкам нервных волокон [288, 175, 174, 287, 142, 245, 166, 105, 195, 190, 248, 266, 216, 151, 240, 294, 280, 306, 177, 71, 237, 178, 103, 197, 317, 149]. Интраоперационно нерв измеряли вместе с внешней оболочкой. Стабильность полученного расхождения, а также очень высокий уровень корреляции подтверждают точность УЗ-измерений. Кроме того, практическое значение имеет не столько определение истинных поперечных размеров нерва, сколько возможность разделения нормы и патологии при оценке изменения этих показателей.

При сопоставлении результатов УЗ- и МР-измерений достоверные ($p<0,05$) коэффициенты линейной корреляции Пирсона и ранговой корреляции Спирмена составили соответственно +0,98 и +0,97. Полученные при МРТ результаты стабильно превышали УЗ-данные (среднее +2,2%, медиана +2,1%), что может быть связано с недостаточным уровнем дифференциации внешних оболочек нерва, размер которых при МРТ, также как и при интраоперационном исследовании, учитывался.

При сопоставлении результатов УЗ-измерений, выполненных двумя независимыми операторами, достоверные ($p < 0,05$) коэффициенты линейной корреляции Пирсона и ранговой корреляции Спирмена достигли +0,99, что

подтверждает очень высокий уровень воспроизводимости результатов. Как в случае сопоставления УЗ- и МР-измерений, так и при сравнении результатов УЗ-измерений нерва двумя операторами полученные нами данные подтверждают результаты предыдущих исследований [92, 325, 42], незначительно отличаясь по величине относительного расхождения.

Таким образом, при УЗИ возможно точное измерение периферических нервов, что является принципиально важным для всех последующих разделов данной работы. Поперечные размеры нерва, определяемые при УЗИ, стабильно меньше, чем при непосредственном измерении в ране и при МРТ. При этом величина отличия незначительна, и ей можно пренебречь в рутинном исследовании. Зависимость результатов УЗИ от оператора компенсируется высоким уровнем воспроизводимости при соблюдении стандартной методики измерения нерва.

5.1.2. Оценка особенностей изменения поперечных размеров нервного ствола при туннельных невропатиях верхней конечности.

Особенности изменения ППС при оценке нерва на всем протяжении

При оценке характера изменения нервов верхней конечности, мы пришли к выводу, что основным морфологическим проявлением поражения нервного ствола при ТН является его фокальное утолщение в области туннеля за счет сегментов, близких к зоне компрессии (S2-выход, S3-туннель, S4-вход), где значения ППС достигали наибольших величин. Изменение сегментов удаленных от туннеля (S1, S5, S6) было незначительным. Доля наблюдений, при которых максимальная величина ППС нерва в области туннеля была больше, чем аналогичный показатель в удаленных сегментах, определялась при наиболее распространенных ТН в пределах от 97 до 100%.

Это отличает данную патологию от ряда диффузных полиневропатий, протекающих с утолщением нервных стволов, для которых более характерно

утолщение нерва на всем протяжении, включая плечевое сплетение [74, 151, 288, 174, 142, 245, 14]. Полученные нами результаты совпадают с данными исследований, в которых нервы оценивали по всей длине, не ограничиваясь областью туннеля [67, 138, 152, 151, 184, 169, 299, 166, 250, 280, 177, 197, 274, 317, 322] и дополняют работы, описывающие изменения нервного ствола только в области компрессии [64, 68, 78, 116, 129, 221, 146, 168, 171, 173, 189, 190, 192, 195, 200, 202, 213, 225, 228, 230, 234, 235, 248, 254, 259, 271, 273, 276, 290, 305, 309, 312, 314, 313, 321, 329, 91, 92, 280, 241, 306, 240, 159, 294, 303, 71, 80, 105, 13, 12]

Особенности изменения сегментов нерва в области туннеля

При ТН1 и ТН2 утолщение сегментов нерва в области туннеля (S2-выход, S3-туннель, S4-вход) происходило неравномерно. Анализ изменений сегментов близких к зоне компрессии (S2-выход, S3-туннель, S4-вход) позволяет выделить общие для всех ТН закономерности утолщения нерва в области туннеля: 1) с увеличением степени поражения нерва может расти ППС любого из трех сегментов (S2,S3,S4), 2) утолщение нерва на входе в туннель более выражено, чем на выходе из него (S4>S2); 3) максимальная ППС, найденная в смежных сегментах, превышает ППС сегмента в туннеле (S2,4>S3). Данные признаки встречаются у большинства пациентов. Так при ТН1 и ТН2 доля наблюдений, при которых утолщение нерва на входе в туннель, было более выражено, чем на выходе из него (S4>S2), определялась в пределах от 56 до 82%, а величина максимальной ППС смежных сегментов превышала аналогичный показатель в туннеле (S2,4>S3) в 62-97% случаев.

Однако часть невропатий может протекать иначе. Так в 36% случаев сдавления срединного нерва в карпальном канале мы выявили более выраженное утолщение дистального сегмента (S2-выход) относительно проксимального (S4-вход). А в 10,9% случаев (22 из 201) утолщение сегмента на выходе из туннеля было единственным проявлением невропатии. Данные нашего исследования о возможном утолщении сегмента нерва дистальнее

места компрессии (S2-выход) дополняют работы, в которых основное внимание уделяется изменениям нерва перед входом в туннель (S4-вход) и его деформации на участке сжатия (S3-туннель) [64, 67, 68, 78, 116, 129, 221, 138, 146, 152, 151, 168, 171, 189, 190, 192, 195, 202, 225, 228, 230, 248, 254, 259, 271, 290, 305, 309, 312, 321, 321, 169, 91, 299, 166, 48, 42].

При этом описанный в литературе симптом - утолщение нерва на входе в туннель, оценивающийся как характерный признак ТН [83, 64, 67, 146, 168, 171, 189, 190, 192, 195, 202, 230, 248, 254, 259, 290, 305, 309, 312, 321, 48, 42], в нашем исследовании встречался самостоятельно только в 18,9% случаев ТН1, и в 69,7% сочетался с утолщением других сегментов. При ТН2 утолщение нерва на входе в туннель (S4) сочеталось с увеличением ППС сегментов S2,S3 в 73,6% случаев и только в 12,7% наблюдений (14 из 110) определялось как самостоятельный симптом.

Результаты нашего исследования хорошо совпадают с описанными в литературе морфологическими изменениями нервов при компрессионно-ишемических невропатиях [83, 38, 118, 256, 74, 237, 288, 161, 197, 142, 209, 239, 139]. Неравномерность утолщения нервного ствола в области туннеля (S2-выход, S3-туннель, S4-вход) определяется одновременно несколькими факторами среди которых: число точек сдавления нерва в пределах туннеля и патофизиологический механизм утолщения нерва, зависящий от срока невропатии и локализации процесса относительно точки компрессии. Патофизиологические механизмы утолщения нерва, к которым принято относить ишемический отек, реактивное воспаление, дегенеративно-дистрофические изменения в межпучковой зоне, аксональную дегенерацию и формирование невромы на разных стадиях развития невропатии неравноценно представлены в каждом из трех сегментов области туннеля. Утолщение за счет ишемического отека преобладает на ранних стадиях, максимально выражено в зоне компрессии и в смежных сегментах, постепенно уменьшается в дистальном и проксимальном направлениях. Интраневральные дегенеративно-дистрофические изменения, аксональная

дегенерация и формирование невромы характерны для более выраженных стадий ТН. Процесс аксональной дегенерации характерен для дистального участка нервного ствола (S1,S2-выход), а формирование невромы – для сегмента проксимальнее точки компрессии (S4-вход).

Можно предположить, что доминирующее утолщение нервного ствола на входе в туннель (S4-вход) связано с формированием в этой зоне невромы, оказывающей более значительное влияние на поперечные размеры нерва, чем механизмы, действующие в других сегментах. Это объясняет широкую распространенность данного симптома, упоминающегося в подавляющем большинстве работ по УЗ-семиотике ТН и, прежде всего, синдрома запястного канала. Однако на стадиях ТН, когда механизм формирования невромы еще отсутствует, и утолщение нерва развивается на фоне венозного застоя, реактивного воспаления и дегенеративных изменений, возникает необходимость осмотра всех сегментов, где протекают данные процессы и прежде всего, дистального (S2-выход), недооценка которого, по нашим данным, в 10,9% случаев синдрома запястного канала может быть причиной ложноотрицательных результатов УЗИ.

При увеличении степени тяжести невропатии мы выявили устойчивый рост ППС нерва на участке непосредственной компрессии (S3-туннель). И хотя утолщение нервного ствола на этом уровне было выражено меньше, чем в смежных сегментах, так как сдерживалось ограниченным объемом туннеля, динамика исследуемого показателя была очевидна. В настоящее время нет единого мнения о том, как изменяются поперечные размеры нерва в зоне максимального сжатия [157]. Описаны как уменьшение [83, 48, 42, 224, 43, 2], так и увеличение толщины и ППС ствола на этом уровне [105, 9, 280, 326]. При этом сравнение со смежными участками не дает корректных оснований утверждать, что сегмент в зоне компрессии уменьшается или увеличивается. Для решения данного спорного вопроса необходимо или отталкиваться от исходной величины ППС сегмента нерва в туннеле, а она в большинстве случаев неизвестна, или проводить длительное наблюдение за группой

пациентов с оценкой динамики данного показателя на фоне нарастающих функциональных нарушений. В доступной литературе такие исследования отсутствуют. В нашей работе мы исходили из того, что ППС сегмента в туннеле (S3-туннель) в группе больных достоверно ($p < 0,05$) больше, чем в группе здоровых и это различие нарастает при увеличении степени поражения нерва. Однако, учитывая то, что мы ориентировались на усредненный показатель, нельзя исключить, что в относительно небольшой части наблюдений основной группы ППС нерва в туннеле могла быть уменьшена относительно исходной величины.

Учитывая вышеизложенное можно предположить два варианта развития туннельного конфликта. Первый – уменьшение объема туннеля, приводящее к сдавлению нерва. Второй – утолщение нерва в неизменяющемся по объему туннеле. Оба варианта, протекая параллельно или последовательно, могут влиять на развитие конфликта, и в зависимости от преобладания одного из них ППС нерва может меняться как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения относительно исходной величины. Еще одним фактором, влияющим на ППС нерва в зоне компрессии, является эластичность туннеля. В случае «эластичного» сужения туннеля (периневральные мягкотканные образования, синовиты с расширением полости суставов и сухожильных влагалищ) нарастающий интраневральный отек, преодолевая сопротивление, раздвигает туннель; ППС нерва при этом равна или больше исходной. При относительно «жестком» сужении туннеля (переломы и вывихи костей, остеофиты, подагрические тофусы, нарастающее рубцовые изменения) ППС нерва может уменьшаться.

Особенности изменения удаленных сегментов нерва

Интересным, хотя и неожиданным для нас, стало изменение ППС нерва в удаленных сегментах при увеличении степени его поражения. Незначительно выраженный, но достоверный ($p < 0,01$) рост этого показателя свидетельствует о том, что весь нервный ствол реагирует на локальное

сдавление. Это косвенно подтверждает гипотезу двойного сдавления (double crush syndrome) [300, 289, 154, 293, 226, 297, 4], объясняя, почему компрессия нерва на одном уровне делает его более чувствительным к сдавлению на всем протяжении. Наглядным примером общей реакции нервного ствола на сдавление являются полученные нами данные по ТН лучевого нерва и его глубокой (двигательной) ветви. Наши данные об утолщении глубокой ветви при сдавлении лучевого нерва в проксимальных отделах совпадают с результатами, полученными A.B. Lämmer и соавт. [197]. Сведения о реакции поверхностной (чувствительной) ветви в ответ на сдавление глубокой в доступной литературе отсутствуют. Предыдущие исследования, в том числе экспериментальные, уделяют внимание "вертикальным" изменениям нервного ствола, происходящим проксимальнее и дистальнее участка поражения [289]. Наше наблюдение свидетельствует о "горизонтальных" процессах, протекающих на одном уровне нерва, с реактивным увеличением ППС непораженной ветви в ответ на сдавление другой ветви того же порядка. Дистальное утолщение глубокой и поверхностной ветвей при сдавлении лучевого нерва в области плеча можно объяснить общим для них процессом валлеровской дегенерации. Однако утолщение поверхностной ветви, происходящее при сдавлении глубокой должно иметь другие, общие для всех отделов нерва патофизиологические механизмы. Так как одним из условий отбора в группу ТН4 (синдром канала супинатора) было отсутствие клинико-электрофизиологических признаков поражения поверхностной ветви лучевого нерва мы не считаем ее утолщение результатом воздействия тех же факторов, что спровоцировали сдавление глубокой ветви. В противном случае, при одновременном воздействии факторов компрессии на обе ветви, следовало бы ожидать изменений функции не только глубокой, но и поверхностной ветви.

Незначительный уровень изменения удаленных сегментов нерва позволяет использовать их ППС в качестве внутреннего контроля при расчете индексов фокального утолщения. Преимуществом относительных

показателей является их нечувствительность к возможному влиянию на размеры нерва таких факторов как пол, возраст, вес, рост, размер запястья, доминантность руки, что было показано в исследовании T. Sugimoto и соавт. [287]. Сравнение ППС нерва в области туннеля с удаленным гомолатеральным сегментом особенно удобно при ТН1 и ТН2 в структуре которых преобладают первичные (идиопатические) формы с двусторонним поражением, когда использование контрлатерального нерва в качестве контроля некорректно. Кроме того, индексы утолщения позволяют количественно различить фокальное и диффузное утолщение нерва при дифференциации туннельных синдромов от ряда полиневропатий протекающих с увеличением нервных стволов [174, 288, 74, 151, 177, 22]. В нашем исследовании при всех ТН величина индексов утолщения нерва достоверно ($p < 0,01$) отличается между группами больных и здоровых.

Корреляционная взаимосвязь между ППС и скоростью распространения возбуждения в сегментах срединного и локтевого нервов. Взаимосвязь между ППС и степенью поражения нерва при ТН.

Признак фокального утолщения нерва, проявляющийся при УЗИ увеличением ППС, четко отражает нарастающие функциональные нарушения. Сопоставление величины ППС нерва с категориальными (степень и тип поражения) и непрерывными числовыми (скорость проведения по нерву) данными показывает высокий уровень взаимосвязи между исследуемыми параметрами. При всех ТН величина ППС нерва достоверно ($p < 0,001$) отличается между больными и здоровыми, а при ТН1 и ТН2 достоверно ($p < 0,05$) растет при увеличении степени тяжести невропатии. У пациентов с ТН2 при аксональном типе поражения ППС нерва достоверно ($p < 0,001$) больше чем при демиелинизирующем. Достоверные ($p < 0,05$) коэффициенты корреляции, полученные нами при сопоставлении ППС со скоростью сенсорного и моторного проведения в сегменте нерва (-0,72 и -0,74 соответственно) свидетельствуют о наличии сильной связи

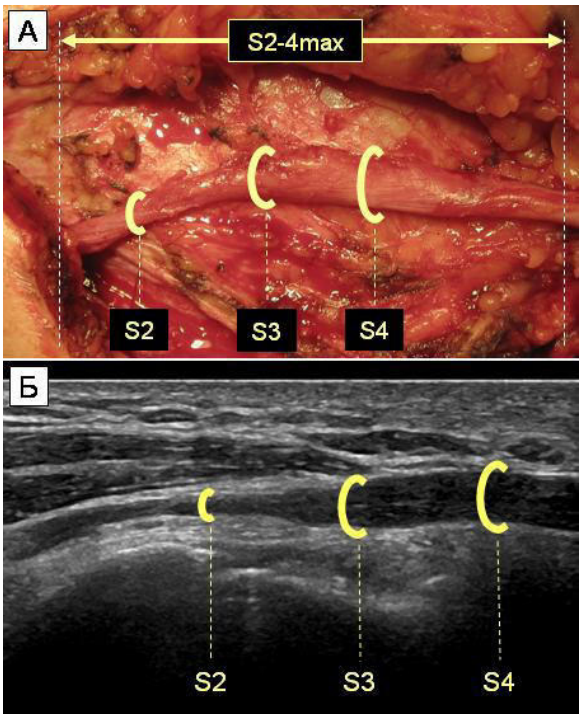
между морфологическими и функциональными изменениями уже на ранних стадиях патологического процесса, когда функция проведения еще не утрачена. Полученные нами данные подтверждают результаты большинства подобных исследований [280, 294, 306, 248, 266, 299, 166, 105, 326, 250, 216, 288, 149, 104]. Однако в ряде публикаций отмечается более низкий уровень корреляции или даже ее отсутствие [303, 317, 140, 228, 190, 277, 237, 220, 80, 225, 13].

Таким образом, важным признаком ТН является фокальное увеличение ППС нерва в области туннеля при незначительных изменениях его удаленных сегментов. На разных сроках невропатии может происходить увеличение ППС любого из трех сегментов в области туннеля (S2-выход, S3-туннель, S4-вход), что делает необходимым УЗ-оценку каждого из них. Доминирующее увеличение ППС сегмента на входе в туннель (S4-вход) связано с формированием невромы на выраженных стадиях невропатии. Увеличение ППС нерва в зоне компрессии ограничено пространством туннеля и поэтому менее выражено, чем на смежных участках. В условиях жесткого сдавления возможно уменьшение ППС нерва в зоне компрессии относительно его исходного размера. Увеличение ППС хорошо коррелирует со степенью и типом поражения нерва, определяемыми электрофизиологическим методом.

5.1.3. Оптимизация методики измерения ППС нерва при карпальном и кубитальном туннельных синдромах

Для оценки исходной диагностической эффективности ультразвукового измерения ППС рассчитали величину площади под ROC-кривой (AUC) для каждого сегмента срединного и локтевого нервов. AUC сегментов в области туннеля (ТН1 – от 0,787 до 0,930; ТН2 – от 0,776 до 0,869) значительно превысила аналогичный показатель удаленных сегментов (ТН1 – 0,591; ТН2 – от 0,645 до 0,666).

Учитывая уже полученные нами данные о возможном утолщении любого из сегментов нерва в области туннеля модифицировали методику, используя в качестве диагностического критерия максимальную ППС, найденную на объединенном отрезке S2–4max, включающем сегменты S2-выход, S3-туннель, S4-вход и соответствующем по протяженности участку нерва, оцениваемому при стандартной ЭНМГ (рис. 19). Это позволило повысить эффективность диагностики и получить более высокие значения AUC (СЗК – 0,974; КТС – 0,928).



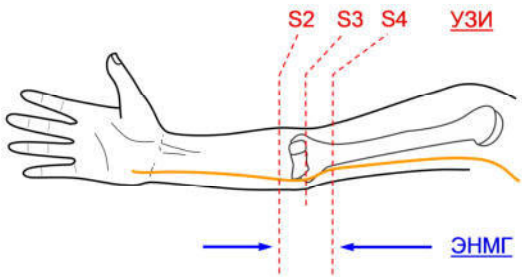


Рис. 19. Соотношение сегментов при УЗИ и ЭНМГ в области локтя. Неравномерное утолщение различных УЗ-сегментов в пределах одного ЭНМГ-сегмента на соответствующих интраоперационном (А) и ультразвуковом (Б) изображениях.

Данный феномен, когда максимальное значение ППС выбранное из трех сегментов оказывается эффективнее оценки ППС каждого сегмента в отдельности, мы объясняем сложной анатомией туннелей, в пределах которых существует несколько различных по объему уровней потенциальной компрессии. В этом случае описанная нами выше типичная реакция нерва на локальное сдавление (ограниченное утолщение в точке сжатия и более выраженное утолщение смежных сегментов) будет значительно сложнее (рис. 20). Можно предположить, что уровень взаимосвязи между ППС нерва и степенью его поражения при ТН определяется не только

патофизиологическими механизмами, вызывающими утолщение нервного ствола, но и факторами, сдерживающими этот процесс.

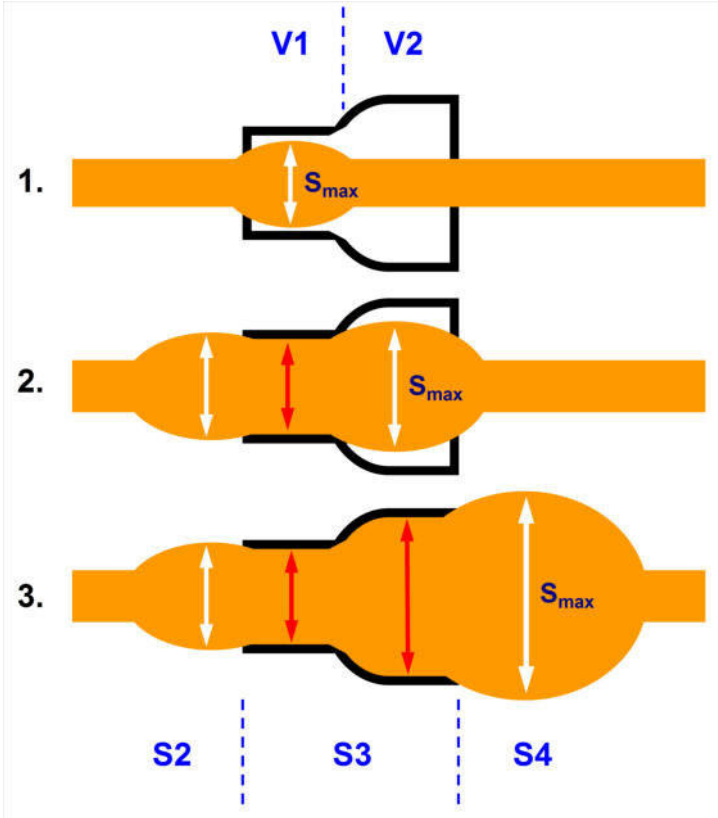


Рис. 20. Схема миграции максимальной ППС нерва в двухуровневом туннеле. Сегменты нерва в области туннеля: S2 - выход из туннеля, S3 - туннель, S4 - вход в туннель. Утолщение нерва неограниченное туннелем (белые стрелки). Утолщение нерва ограниченное туннелем (красные стрелки). На начальном этапе (1) максимальная ППС нерва локализуется в узкой части туннеля (V1), далее (2) смещается в широкую часть (V2). После "заполнения" нервом пространства туннеля (3) утолщение охватывает смежные сегменты с локализацией максимальной ППС на входе в туннель. Максимальная ППС (Smax) перемещается вдоль туннеля в направлении наибольшего пространства.

В таком случае, изменяющаяся ППС будет коррелировать с нарастающими функциональными нарушениями до тех пор, пока утолщение нерва ничем не ограничено. Однако, как только размеры нервного ствола достигнут границ наиболее узкого места туннеля, его утолщение на этом участке будет приостановлено, и уровень взаимосвязи между ППС нерва и степенью его функционального поражения резко снизится. При этом

увеличение смежных сегментов, пока ничем не ограниченных, может продолжаться и их растущая ППС будет в полной мере коррелировать с функций нерва. Когда смежный сегмент, в свою очередь, достигнет предела объема туннеля и его рост прекратится, начнется увеличение следующего участка нерва.

Можно ожидать, что при таком "каскадном" сценарии, когда точки потенциальной компрессии последовательно включаются в патологический процесс, максимальная ППС нерва будет "мигрировать" вдоль туннеля в направлении наибольшего пространства. При этом именно сегмент с максимальной ППС будет наиболее точно отражать степень поражения нерва на данной стадии невропатии. В таком случае, в «сложных» туннелях, результат оценки ППС в одной точке не может быть стабильно высоким. Так на начальных стадиях ТН измерение в данной точке может быть еще недостаточно информативным. Когда утолщение охватывает измеряемый сегмент нерва, мы можем ожидать максимальной эффективности теста. Но как только утолщение нервного ствола остановлено стенками туннеля, оценка ППС на данном уровне становится некорректной.

Следовательно, предлагаемое в большинстве методик измерение ППС нерва на регламентированном, привязанном к определенному анатомическому ориентиру уровне (например, гороховидная кость при карпальном или медиальный надмыщелок плечевой кости при кубитальном туннельных синдромах) может допускать оценку на неинформативных стадиях патологического процесса, что неизбежно скажется на общей эффективности диагностического теста.

Поиск максимального значения ППС нерва на всем протяжении туннеля, включая смежные сегменты, позволит минимизировать влияние "миграции" на диагностический тест и более точно сопоставить данные УЗИ с нарастающими функциональными нарушениями, что подтверждается в нашем исследовании увеличением площади под ROC-кривой.

Мы предполагаем, что по такой схеме могут развиваться туннельные конфликты в карпальном канале и в кубитальной области. Так сдавление срединного нерва под проксимальным краем ретинакулума карпального канала (retinaculum flexorum) может провоцировать его ущемление на уровне крючковидной кости. А первичное сжатие локтевого нерва под фасцией Озборна запускает утолщение смежного сегмента, который вторично сдавливается в позадинадмыщелковом желобе или наоборот. Сценарий "каскадного" сдавления в неравномерном по объему туннеле хорошо подтверждается исследованием Y. Suzuki и Y. Shirai на модели с седалищным нервом, помещенным в кольца различного диаметра. В данном эксперименте первичная компрессия нерва в наиболее узком кольце приводила к его вторичному сжатию в кольцах большего размера расположенных проксимальнее и дистальнее [289]. Кроме того, наше предположение подтверждается результатами работ по исследованию карпального и кубитального туннельных синдромов, в которых в качестве диагностического теста использовалась максимальная ППС нерва найденная в пределах исследуемого туннеля [184, 306].

Возможно, при пошаговой ЭНМГ-оценке (инчинг) удастся получить пороговые значения для каждого уровня потенциальной компрессии и для каждого УЗ-сегмента нерва в отдельности, что и было показано для срединного нерва в исследовании S.F. Chen и соавт. [105] и для локтевого нерва в исследовании N.G. Simon и соавт. [280]. Однако при рутинном УЗИ, нам представляется более удобным использование единого диагностического показателя, тем более что его диагностическая эффективность, определяемая как в нашем, так и в подобных исследованиях, достаточно высока [184, 200, 213, 329, 266, 306, 71, 250]. Кроме того, визуальная дифференциация различных уровней сдавления нерва в пределах одной анатомической области (запястья или локтя) не имеет большого практического значения, так как при хирургическом лечении проводится декомпрессия на протяжении всего туннеля с устранением всех точек потенциального сжатия.

Таким образом, методика УЗ-диагностики карпального и кубитального туннельных синдромов может быть оптимизирована за счет поиска максимального значения ППС на отрезке, объединяющем все сегменты нерва в области туннеля (S2-выход, S3-туннель, S4-вход), что позволяет получить уровень диагностической эффективности более высокий, чем при оценке каждого сегмента в отдельности.

5.1.4. Выявление критериев диагностики ТН верхней конечности

Полученное нами пороговое значение ППС срединного нерва для диагностики синдрома запястного канала (>12 мм^2) совпадает с результатами предыдущих работ, где оно определяется в пределах от 11 до 13 мм^2 [138, 171, 184, 190, 195, 202, 213, 228, 230, 235, 273, 312, 321, 91]. В ряде исследований, использующих более мягкие клинико-электрофизиологические критерии легкой степени карпального синдрома, величина порогового значения ППС срединного нерва составила 9-10 мм^2 [64, 67, 68, 129, 221, 151, 173, 189, 192, 225, 235, 248, 254, 276, 290, 305, 309, 314, 313, 329, 166]. Только в пяти подобных исследованиях данный показатель значительно отличался от полученного нами определяясь в пределах 6,5-7мм^2 [259, 116] или 14-15 мм^2 [152, 200, 271].

Пороговое значение локтевого нерва, выявленное нами для диагностики ТН в кубитальной области (>12 мм^2) несколько выше, чем в предыдущих исследованиях, где оно определяется в пределах от 7,5 до 11мм^2 [294, 306, 177, 317, 71, 250, 172, 113, 111]. Меньшая величина порогового значения у других авторов может быть связана с менее жесткой, чем у нас системой отбора в опытную группу (по результатам только клинического обследования без учета данных ЭНМГ) [294], другими клинико-электрофизиологическими критериями легкой степени невропатии [306, 71, 177], а также разными уровнями измерения ППС.

Полученные нами значения диагностической эффективности УЗИ при ТН1 (чувствительность 91%, специфичность 98%, точность 94%) и ТН2

(чувствительность 84%, специфичность 95%, точность 90%), совпадают с большинством публикаций, где они определяются для синдрома запястного канала: чувствительность - 78-98%, специфичность - 87-95%, диагностическая точность - 79-97% [216, 124, 272, 128, 129, 313, 195, 292, 266, 224, 136, 228, 99, 42]; для сдавлении локтевого нерва в области локтя: чувствительность - 71-93%, специфичность - 73-98%, точность 85-90% [241, 303, 306, 260, 288, 113, 172, 317].

Полученное нами среднее значение ППС лучевого нерва при его сдавлении в области плеча (15,7±1,25мм^2) совпадает с данными В.Г. Салтыковой и соавт. (16мм^2). Аналогичный показатель в контрольной группе (5,5±0,18мм^2) совпадает с данными J. Chen и соавт. (5,14±1,24мм^2) и меньше результата В.Г. Салтыковой (9мм^2) [103, 43]. В доступной литературе не удалось найти работы, рассчитывающие пороговое значение ППС лучевого нерва для диагностики его сдавлении в области плеча, которое в нашем исследовании составило 7мм^2 (чувствительность 87%, специфичность 97%, точность 93%).

Полученное нами пороговое значение ППС для диагностики сдавления глубокой (двигательной) ветви лучевого нерва - 3мм^2 (чувствительность 72%, специфичность 96%, точность 84%), сопоставить с данными литературы не удалось, так как в единичных на сегодняшний день работах авторы использовали линейные размеры (толщину и ширину) поперечного среза нерва, определяя их в группе больных в пределах от 1,2 до 4,5мм [197, 126, 87]. В нашем исследовании мы не применяли данные показатели, так как их надежность при УЗИ нервов значительно ниже, чем ППС, что подтверждается работами M.S. Cartwright и соавт. и A.O. Bayrak и соавт. [100, 76]. Данные о величине ППС глубокой (двигательной) ветви лучевого нерва, как в норме, так и при патологии в доступных литературных источниках не встречаются [210]. Среднее значение ППС поверхностной (чувствительной) ветви лучевого нерва полученное нами в контрольной

группе (1,5±0,08 мм^2) меньше результата S.C. Marx и соавт. (2,63 ± 0,05 мм^2) [215].

Определяемое нами при измерении на уровне гороховидной кости пороговое значение ППС локтевого нерва - 6мм^2 позволяет диагностировать синдром канала Гюйона с чувствительностью 71%, специфичностью 96%, точностью 83%. В доступной на сегодняшний день литературе такие данные отсутствуют. Удается найти единичные статьи, описывающие случаи УЗ-диагностики образований, вызывающих сдавление локтевого нерва в канале Гюйона [227, 194, 182, 316]. Однако мы сопоставили полученное в контрольной группе среднее значение ППС локтевого нерва на уровне канала Гюйона - 5,7±0,1мм^2 с данными исследования E. Yalcin и соавт. где этот показатель был несколько ниже и составил 4,9±0,6 мм^2 [317].

Полученные нами пороговые значения ППС срединного нерва для определения умеренной (13мм^2, чувствительность 92%, специфичность 84%) и тяжелой (16мм^2, чувствительность 84%, специфичность 73%) степеней тяжести его поражения при синдроме запястного канала хорошо совпадают с результатами малочисленных на сегодняшний день исследований, где они определятся в пределах 12-13мм^2 и 15-16 мм^2 соответственно (чувствительность 96-97%, специфичность 92-97%) [140, 166, 221]. Определяемое в нашей работе пороговое значение ППС для разделения демиелинизирующего и аксонального типов поражения локтевого нерва при его сдавлении в кубитальной области полностью совпало с аналогичным показателем в исследовании A. Volpe и соавт. [306] и составило 15мм^2 (чувствительность 92%, специфичность 84%).

Индекс утолщения срединного нерва для диагностики синдрома запястного канала составил в нашем исследовании 1,7 (чувствительность 87%, специфичность 85%), что меньше чем в исследовании A.M. Ulaşli и соавт. - 1,93 (чувствительность 99%, специфичность 71%) и больше чем в работах T. Altinok и соавт., L.D. Hobson-Webb и соавт., M. Keberle и соавт. и S. Kang и соавт., где данный показатель определялся в пределах 1,3-1,4

(чувствительность 55-99%, специфичность 92-100%) [299, 67, 151, 169, 166]. Относительно большие значения индекса утолщения, полученные нами и в работе A.M. Ulaşli и соавт., вероятно, связаны с использованием в расчетах обоих исследований максимального значения ППС нерва найденного на объединенном отрезке в области туннеля (S2-4max).

Для оценки утолщения локтевого нерва при его сдавлении в кубитальной области мы рассчитали два индекса, сопоставляя максимальную ППС в области локтя с ППС на плече - 1,7 (чувствительность 73%, специфичность 89%) и предплечье - 1,8 (чувствительность 74%, специфичность 84%). Наши результаты сопоставимы с данными J.H. Kim и соавт. и C.K. Choi и соавт., которые определяли значения индексов утолщения в пределах 1,48-1,99 (чувствительность 75-94%, специфичность 73-95%) и значительно меньше данных R. Pais и соавт. - 2,8 и 2,9 (чувствительность 73%, специфичность 89%) [250, 177, 112]. Существенный разброс значений индексов утолщения локтевого нерва, по всей видимости, связан не только с разными клинико-электрофизиологическими критериями легкой степени невропатии [177], но и с выбором для внутреннего контроля различных по удаленности участков в пределах запястья, предплечья и плеча.

В настоящем исследовании впервые рассчитаны индексы утолщения лучевого нерва - 1,25 (чувствительность 68,6%, специфичность 91,4%) и его глубокой (двигательной) ветви - 0,5 (чувствительность 80%, специфичность 84%), а также индекс утолщения локтевого нерва при его сдавлении в канале Гюйона - 1,0 (чувствительность 48,4 %, специфичность 96,4%). В доступной литературе подобные работы не встречаются.

Описанное в литературе возрастное утолщение нервов [282, 215] может быть серьезным ограничением нашего исследования, так как возникает необходимость расчета пороговых значений ППС нерва для каждой возрастной группы в отдельности. Однако по данным исследования S.C. Marx и соавт. статистически значимое увеличение поперечных размеров нервов человека происходит в возрастной группе старше 71 года [215]. Эти

изменения не могут значительно повлиять на результаты нашей работы, так как доля таких пациентов в анализируемой выборке не превышает 5,5% (42 из 766 наблюдений).

Кроме того, описанное при гистологических исследованиях возрастное увеличение поперечных размеров нормального нерва происходит в основном за счет накопления жировой ткани в эпиневрии [282, 215]. Это проявляется при УЗИ утолщением гиперэхогенных оболочек нерва, размер которых при стандартной методике оценки ППС не учитывается [288, 175, 174, 287, 142, 245, 166, 105, 195, 190, 248, 266, 216, 151, 240, 294, 280, 306, 177, 71, 237, 178, 103, 197, 317, 149]. Оцениваемая при УЗИ гипоэхогенная фракция поперечного среза нерва соответствует пучкам нервных волокон, в которых, по данным литературы, отсутствует жировая ткань, а происходящее с возрастом накопление коллагена не оказывает значительного влияния на размер [215].

Таким образом, измеряемая при УЗИ гипоэхогенная часть поперечного среза нерва, практически не подвержена возрастному увеличению, а изменяется только при патологических процессах, прежде всего за счет отека и формирования невромы [215, 30]. Тем не менее, дальнейшие исследования по оценке влияния возраста на изменение размера гипоэхогенной части поперечного среза локтевого нерва необходимы, так как результаты малочисленных работ противоречивы и указывают как на наличие взаимосвязи между данными показателями [294], так и на ее отсутствие [317].

Для оценки степени сдавления срединного нерва в карпальном канале мы рассчитали индекс его деформации (уплощения) на уровне крючковидной кости по соотношению ширины нервного ствола к его толщине. Полученное нами пороговое значение - 3,0 (чувствительность 50%, специфичность 71%, точность 59%) совпадает с данными большинства предыдущих работ, где оно определяется в пределах от 2,77 до 3,4 [67, 129, 213, 235, 321, 169] и значительно меньше результата полученного S.N. Saracgil и соавт. - 4,0 [271].

Однако, как в нашем, так и в других исследованиях, диагностическая информативность данного теста невысока и определяется со значительным разбросом в пределах: чувствительность – 2-65%, специфичность – 48-95% [67, 129, 213, 235, 271, 321]. Некоторые авторы не получили по данному показателю оптимального порогового значения [173], или достоверных ($p<0,05$) отличий между группами больных и здоровых [273]. Мы объясняем большой разброс показателей чувствительности и специфичности, а также относительно низкий уровень диагностической информативности теста, существенными техническими ограничениями при УЗ-измерении ширины и толщины нерва на уровне крючковидной кости. Большое число артефактов возникающих из-за неплотного прилегания стандартного линейного датчика к ладонной поверхности запястья на границе тенара и гипотенара значительно снижает уровень дифференциации контуров срединного нерва, что неизбежно сказывается на качестве измерений [140, 266, 171, 292]. Учитывая данные A. Mallouhi и соавт. и L. Padua и соавт. индекс деформации (уплощения) срединного нерва на уровне крючковидной кости предпочтительнее использовать в комплексе с другими признаками ТН, так как самостоятельное его значение невелико [213, 244].

Степень ладонного смещения ретинакулума карпального канала (retinaculum flexorum) мы определяли на двух уровнях: 1) по общепринятой методике - между крючковидной костью и костью трапецией, 2) по усовершенствованной нами методике, включающей дополнительный уровень измерения - между гороховидной и ладьевидной костями. Это отличает наше исследование от предыдущих, где этот показатель оценивался только на уровне дистального ряда костей запястья [67, 78, 173, 202, 213, 235, 271, 273, 309, 91].

УЗ-визуализация ретинакулума карпального канала на уровне крючковидной кости сопряжена с такими же техническими ограничениями, как и визуализация ствола срединного нерва описанная выше. Низкий уровень дифференциации ретинакулума, а также переднего контура

крючковидной кости может снижать точность УЗ-измерений [140, 266, 171, 292]. При этом проведение УЗИ на уровне проксимального ряда костей запястья значительно проще и обеспечивает стабильную визуализацию удерживающей связки. На уровне крючковидной кости мы получили пороговое значение >1,5мм (чувствительность 81%, специфичность 72%, точность 77%, AUC 0,793). Это меньше чем у других авторов, получивших значения в пределах 2,0-3,7мм (чувствительность 40-81%, специфичность 52-90%). На уровне гороховидной кости пороговое значение ладонного смещения ретинакулума составило в нашем исследовании >3,0мм (чувствительность 80%, специфичность 79,3%, точность 80%, AUC 0,868). Учитывая более высокие показатели диагностической информативности, полученные при измерениях на уровне гороховидной кости, а также качество визуализации в этой анатомической зоне, мы считаем более целесообразным при рутинном исследовании применение порогового значения >3,0мм с оценкой степени смещения ретинакулума на уровне проксимального ряда костей запястья.

Таким образом, выявленные в нашем исследовании пороговые значения ППС и индексов утолщения нервов верхней конечности можно использовать в качестве диагностических тестов для подтверждения ТН, а также для определения степени и типа поражения нерва. При ТН1 и ТН2 максимальное значения ППС нерва найденное на отрезке, объединяющем все сегменты в области туннеля (S2-выход, S3-туннель, S4-вход) является оптимальным диагностическим тестом с более высоким уровнем информативности чем при оценке ППС каждого сегмента в отдельности. При синдроме запястного канала самостоятельное значение индекса деформации (уплощения) нерва в туннеле невелико и его необходимо оценивать только в совокупности с другими УЗ-признаками невропатии. Оценку степени ладонного смещения ретинакулума карпального канала необходимо проводить на проксимальном и дистальном уровнях его костного крепления.

5.1.5. Оценка возможностей УЗИ при определении взаимоотношения объемного образования со стволом нерва

Результаты, полученные нами при оценке взаимоотношения объемного образования со стволом нерва совпадают, прежде всего, с работами по УЗ-диагностике интраневральных опухолей [298, 256, 135, 83, 325, 46, 28, 45]. Эффективность УЗИ при выявлении образований исходящих из нервного ствола составила в нашем исследовании: чувствительность - 92,3%, специфичность - 97,8%, точность - 96,6%, положительная прогностическая ценность - 90,9%, отрицательная прогностическая ценность - 95,7%. Это сопоставимо с данными исследований C.M. Zaidman и соавт. и J. Zhu и соавт. по УЗ-диагностике интраневральных патологических процессов: чувствительность - до 93%, специфичность - 86% [325, 327].

Однако в доступной литературе отсутствуют работы подтверждающие возможности УЗИ по количественной оценке удаленности объемного образования от нервного ствола. В нашей работе при сопоставлении результатов интраоперационных, УЗ- и МР-измерений расстояния от образования до нерва достоверный ($p < 0,001$) коэффициент линейной корреляции Пирсона составил +0,99, а при отнесении образований к различным категориям удаленности (исходит из нерва, тесно прилежит к нерву, удаленность до 10 мм, удаленность более 10 мм) общее число расхождений не превысило 5%. Мы считаем, что высокая точность оценки взаимоотношения объемного образования и нервного ствола позволяет использовать УЗИ для определения роли локального патологического процесса в возникновении компрессионной невропатии. Однако данное предположение требует проведения специальных исследований учитывающих не только удаленность образования, но и взаимосвязь его положения с другими признаками сдавления нерва. При УЗ-оценке характера образований с распределением их на солидные, кистозные и костной плотности мы получили полное совпадение с интраоперационными данными и результатами МРТ, что соответствует многочисленным литературным

данным [84, 217, 29, 55, 8, 63, 46, 32, 28, 45, 60]. Таким образом, при УЗИ возможна точная оценка взаимоотношения объемного образования и периферического нерва, что необходимо при анализе причин ТН, а также для планирования операций по удалению пальпируемых образований, лоцирующихся в проекции нервных стволов.

5.1.6. Оценка эффективности УЗИ при диагностике полного анатомического перерыва нерва

Эффективность УЗИ при диагностике полного анатомического перерыва нерва составила в нашем исследовании: чувствительность - 97%, специфичность - 80%, точность - 89%, положительная прогностическая ценность - 86%, отрицательная прогностическая ценность - 95%. Наши данные дополняют исследование M.S. Cartwrigh, в котором диагностическая эффективность УЗИ была оценена на 20 конечностях трупов, с предварительно пересеченными в случайных местах срединным, локтевым и лучевым нервами: чувствительность - 89%, специфичность - 95% (98), а также подтверждают результаты, полученные В.Г. Салтыковой при исследовании пациентов с посттравматическими невропатиями: чувствительность - 93,5%, специфичность - 100%, точность - 95,7% [44]. Число ложноотрицательных результатов в нашем исследовании (3,2%) совпадает с аналогичным показателем в работе И.Г. Чуловской, где этот показатель составил 3,7% [58].

Таким образом, УЗИ позволяет подтвердить или исключить разрыв нерва у пациентов с посттравматической невропатией, протекающей с признаками полного аксонального поражения по данным КЭФИ. Результаты УЗИ позволяют не только установить уровень поражения нерва, но и определить тактику лечения, которая может быть выжидательной, если целостность нервного ствола сохранена, и хирургической в случае разрыва [244, 247].

5.2. Выводы

1. Точность ультразвуковой оценки поперечных размеров периферических нервов подтверждается сопоставлениями с операционными и МРТ данными. Относительная величина расхождения между методами и в среднем и по медиане не превышает 4%.

2. У пациентов с клинико-электрофизиологическими признаками туннельной невропатии верхней конечности при УЗИ определяется фокальное увеличение площади поперечного сечения пораженного нерва за счет сегментов, близких к зоне компрессии. При туннельной невропатии возможно увеличение площади поперечного сечения любого из трех сегментов нерва в области туннеля (S2-выход, S3-туннель, S4-вход).

3. Скорость проведения возбуждения в сегментах срединного и локтевого нервов снижается при увеличении площади их поперечного сечения. Достоверные ($p < 0,0001$) коэффициенты корреляции, полученные при сопоставлении площади поперечного сечения со скоростью сенсорного и моторного проведения (-0,72 и -0,74 соответственно), подтверждают наличие высокой обратной взаимосвязи между исследуемыми параметрами.

4. Оптимизация методики УЗ-диагностики карпального и кубитального туннельных синдромов достигается за счет поиска максимального значения площади поперечного сечения на отрезке, объединяющем все сегменты нерва в области туннеля (S2-выход, S3-туннель, S4-вход). Выявленные пороговые значения площади поперечного сечения нервов, позволяют диагностировать различные туннельные невропатии верхней конечности с чувствительностью 71-91%, специфичностью 95-98%, точностью 83-94%.

5. УЗИ позволяет точно оценить взаимоотношение объемного образования со стволом нерва. При сопоставлении результатов УЗ-измерений удаленности образования от нервного ствола с операционными и МРТ данными достоверный ($p < 0,001$) коэффициент линейной корреляции составил +0,99. Эффективность УЗ-диагностики интраневральных образований составила: чувствительность - 92,3%, специфичность - 97,8%,

точность - 96,6%, положительная прогностическая ценность - 90,9%, отрицательная прогностическая ценность - 95,7%.

6. УЗИ позволяет диагностировать полный анатомический перерыв нерва с чувствительностью - 97%, специфичностью - 80%, точностью - 89%, положительной прогностической ценностью - 86%, отрицательной прогностической ценностью - 95%.

5.3. Практические рекомендации

Показаниями к проведению УЗИ нервов верхних конечностей следует считать:

1. Атрофию индикаторных мышц, когда получения прямой информации о моторном проведении при ЭФИ невозможно.

2. Неясные ситуации, когда определение уровня поражения нерва по данным КЭФИ затруднено.

3. Отрицательные результаты ЭФИ у пациентов с клиническими проявлениями ТН.

4. Поиск локальных патологических процессов, в зоне сдавления нерва на установленном по данным КЭФИ уровне.

5. Пальпируемые образования в проекции нервных стволов.

6. Планирование хирургической декомпрессии нерва особенно при операциях с ограниченным визуальным контролем

7. Отсутствие клинического улучшения или осложнения после хирургической декомпрессии нервов верхней конечности.

8. Поиск ятрогенного повреждения нерва при невропатиях, возникших после хирургических вмешательств.

9. Посттравматические невропатии с признаками полного аксонального поражения по данным ЭФИ для исключения или подтверждения полного анатомического перерыва нерва.

При выполнении УЗИ у пациентов с подозрением на ТН следует оценивать нервный ствол на всем протяжении, включая удаленные от туннеля сегменты.

На разных сроках невропатии может происходить увеличение площади поперечного сечения любого из трех сегментов нерва в области туннеля (S2-выход, S3-туннель, S4-вход), что делает необходимым УЗ-оценку каждого из них. При синдроме запястного канала недооценка участка нерва на выходе из карпального канала (S2-выход) в 10,9% случаев может быть причиной ложноотрицательных результатов УЗИ.

Карпальный и кубитальный туннельные синдромы следует оценивать по максимальному значению ППС нерва, найденному на отрезке, объединяющем все сегменты в области туннеля (S2-выход, S3-туннель, S4-вход).

УЗ-оценку степени ладонного смещения ретинакулума карпального канала (retinaculum flexorum) удобнее проводить в проксимальных отделах, что позволяет избежать технических ограничений, возникающих при измерении на дистальном уровне и повысить эффективность диагностики.

При обследовании нервов верхней конечности УЗИ необходимо применять в качестве метода первой линии лучевой диагностики. МРТ следует использовать на втором этапе лучевого обследования для уточнения характеристик установленного при УЗИ периневрального объемного образования, а также для оценки нерва на участках, где его УЗ-визуализация затруднена (костные отломки, костная мозоль, рубцовые изменения).

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

КИН	компрессионно-ишемические невропатии
КЭФИ	клинико-электрофизиологическое исследование
МРТ	магнитно-резонансная томография
МР-	магнитно-резонансный
М-ответ	ответ мышцы при стимуляции иннервирующего ее нерва
моторный	двигательный
ППС	площадь поперечного сечения
сенсорный	чувствительный
ТН	туннельные невропатии
ТН1	сдавление срединного нерва в канале запястья
ТН2	сдавление локтевого нерва в кубитальной области
ТН3	сдавление лучевого нерва в области плеча
ТН4	сдавление глубокой (двигательной) ветви лучевого нерва
ТН5	сдавление локтевого нерва в канале Гюйона
УЗИ	ультразвуковое исследование
УЗ-	ультразвуковой
ЭФИ	электрофизиологическое исследование
ЭНМГ	электронейромиография
ЭМГ	электромиография
AUC	площадь под ROC-кривой
S1	дистальный отдел нерва
S2	сегмент нерва на выходе из туннеля
S3	сегмент нерва в туннеле
S4	сегмент нерва на входе в туннель
S5, S6	проксимальные отделы нерва
Sm	глубокая (двигательная) ветвь нерва
Ss	поверхностная (сенсорная) ветвь нерва
S2–4max	сегмент включающий: S2-выход, S3-туннель, S4-вход

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айтемиров, Ш.М. Интраоперационная нейровизуализация в хирургическом лечении пациентов с повреждениями периферических нервов конечностей / Ш.М. Айтемиров, В.Г. Нинель, Г.А. Коршунова // Саратовский научно-медицинский журнал. — 2015. — Т. 11, № 2. — С. 178-183.
2. Айтемиров, Ш.М. Высокоразрешающая ультрасонография в диагностике и хирургии периферических нервов конечностей (обзор литературы) / Ш.М. Айтемиров, В.Г. Нинель, Г.А. Коршунова [и др.] // Травматология и ортопедия России. — 2015. — Т. 77, № 3. — С. 116-125.
3. Акимов, Г.А. Дифференциальная диагностика нервных болезней: Руководство для врачей / Г.А. Акимов, М.М. Одинак // СПб. : Гипократ+, 2004. — 777 с.
4. Бахтерева, Е.В. Современное состояние проблемы фокальных невропатий: дефиниции, распространенность, диагностика (обзор литературы) / Е.В. Бахтерева, В.А. Широков, Е.Л. Лейдерман [и др.] // Уральский медицинский журнал. — 2011. — Т. 80, № 2. — С. 19-24.
5. Белова, Н.В. Современные представления о диагностике и лечении карпального туннельного синдрома / Н.В. Белова, Д.Г. Юсупова, Д.Ю. Лагода [и др.] // Русский медицинский журнал. — 2015. — Т. 23, № 24. — С. 1429-1432.
6. Берснев, В.П. Практическое руководство по хирургии нервов / Под ред. В.П. Берснева: В 2т. / В.П. Берснев, Г.С. Кокин, Т.О. Извекова // СПб.: ФГУ "РНХИ им. А.Л. Поленова Росмедтехнологий", 2009. — 296 с.
7. Берснев, В.П. Практическое руководство по хирургии нервов / Под ред. В.П. Берснева: В 2т. / В.П. Берснев, Г.С. Кокин, Т.О. Извекова // СПб.: ФГУ "РНХИ им. А.Л. Поленова Росмедтехнологий", 2009. — 564 с.

8. Биссет, Р.А.Л. Диффенциальный диагноз при абдоминальном ультразвуковом исследовании // Пер. с англ. / Р.А.Л. Биссет, А.Н. Хан // М.: Мед. лит., 2007. — 456 с.
9. Блют, Э.И. Ультразвуковая диагностика. Практическое решение клинических проблем. Том 5. / Э.И. Блют, К.Б. Бенсон, Ф.У. Раллс [и др.] // М.: Медицинская литература, 2011. — 713 с.
10. Богов, А.А. Синдром запястного (карпального) канала / А.А. Богов, Р.Ф. Масгутов, И.Г. Ханнанова [и др.] // Практическая медицина. — 2014. — Т. 80, № 4-2. — С. 35-40.
11. Волкова, А.М. Хирургия кисти. В 3-х томах. Т.1 : Хирургия сухожилий и нервов кисти / А.М. Волкова // Екатеринбург: Средне-Уральское книжное издательство, 1991. — 300 с.
12. Вуйцик, Н.Б. Новые аспекты ультразвуковой диагностики, пред-, интра- и послеоперационного навигационного контроля запястного туннельного синдрома / Н.Б. Вуйцик, С.О. Арестов // Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России. — 2013. — Т. 2, № 13. — С. 1.
13. Вуйцик, Н.Б. Особенности ультразвуковой диагностики кубитального туннельного синдрома в до- и послеоперационном периодах / Н.Б. Вуйцик, С.О. Арестов, Кащеев А.А. // Нейрохирургия. — 2014. — № 2. — С. 54-57.
14. Вуйцик, Н.Б. Ультразвуковые изменения периферических нервов при мультифокальной моторной невропатии / Н.Б. Вуйцик, И.А. Строков, Г.И. Кунцевич [и др.] // Неврологический журнал. — 2014. — Т. 19, № 1. — С. 32-37.
15. Горшков, Р.П. Новый способ интраоперационной диагностики повреждения периферических нервов / Р.П. Горшков, Д.К. Джумагишиев, В.Г. Нинель [и др.] // Вестник новых медицинских технологий. — 2010. — № 1.

16. Евтушенко, С.К. Туннельные невропатии. Трудности диагностики и терапии / С.К. Евтушенко, А.Н. Евтушевская, В.В. Марусиченко // Международный неврологический журнал. — 2015. — Т. 71, № 1. — С. 25-30.
17. Еськин, Н.А. Возможности ультразвуковой диагностики при синдроме карпального канала / Н.А. Еськин, И.Ю. Насникова, А.И. Финешин // Клинический вестник. — 2009. — № 4. — С. 26-30.
18. Жулев, Н.М. Компрессионо-ишемические невропатии: Автореф. дис. … д-ра мед. Наук / Н.М. Жулев . — М., 1992. — 46 с.
19. Заболотских, Н.В. Современные методы диагностики синдрома запястного канала / Н.В. Заболотских, Е.С. Брилёва, А.Н. Курзанов [и др.] // Кубанский научный медицинский вестник. — 2015. — Т. 154, № 5. — С. 132-136.
20. Измалков, С.Н. Туннельные синдромы в книге: Современные подходы к лечению больных с осложненными переломами лучевой кости в «типичном месте» / С.Н. Измалков // Самара, 2007. — 6-9 с.
21. Кандыба, Д.В. Ошибки в амбулаторной неврологической практике. Часть 1. / Д.В. Кандыба // Российский семейный врач. — 2015. — Т. 19, № 1. — С. 1-12.
22. Кинзерский, А.А. Диагностика карпального туннельного синдрома у спортсменов с помощью эластометрии сдвиговой волной / А.А. Кинзерский, С.А. Кинзерский, А.Ю. Кинзерский [и др.] // Научно-спортивный вестник Урала и Сибири. — 2015. — Т. 7, № 4. — С. 14-18.
23. Коновалов, А.Н. Нейротравматология: Справочник. 2-е изд. / А.Н. Коновалов, Л.Б. Лихтерман, А.А. Потапов // Ростов-на-Дону: Феникс, 1999. — 576 с.
24. Копылов, А.Ю. Оперативное лечение неправильно срастающихся переломов дистального эпиметафиза лучевой кости, осложненных синдромом карпального канала с компрессионно-ишемической

нейропатией срединного нерва / А.Ю. Копылов // Вопросы травматологии и ортопедии. — 2012. — № 1. — С. 7-10.

25. Котов, А.С. Туннельные синдромы / А.С. Котов, Ю.В. Елисеев // Русский медицинский журнал. — 2014. — Т. 22, № 22. — С. 1586-1588.
26. Масгутов, Р.Ф. Синдром кубитального канала, диагностика и выбор тактики лечения / Р.Ф. Масгутов, А.А. Богов, А.Р. Галлямов [и др.] // Практическая медицина. — 2015. — № 4-1. — С. 105-111.
27. Мельцер, Р.И. Нейрокомпрессионные синдромы: Монография / Р.И. Мельцер, С.М. Ошукова, И.У. Иванова // ПетрГУ. Петрозаводск, 2002. — 134 с.
28. Миронов, С.П. Диагностические возможности ультразвукового исследования при нейрофиброматозе / Миронов С.П., Митьков В.В., Салтыкова В.Г. [и др.] // Ультразвуковая и функциональная диагностика. — 2010. — № 4. — С. 53-61.
29. Митьков, В.В. Практическое руководство по ультразвуковой диагностике. Общая ультразвуковая диагностика. 2-изд. / В.В. Митьков // М.: Из-дательский дом Видар-М, 2011. — 712 с.
30. Мументалер, М. Поражения периферических нервов и корешковые синдромы. Пер. с нем.; под общ. ред. А.Н. Баринова / М. Мументалер, М. Штёр, Г. Мюллер-Фаль // М.: МЕДпресс-информ, 2013. — 616 с.
31. Муравьева, Г.Б. Нервно-мышечные осложнения при заболеваниях щитовидной железы / Г.Б. Муравьева, Ф.И. Девликамова // Практическая медицина. — 2013. — Т. 66, № 1. — С. 38-41.
32. Насникова, И.Ю. Ультразвуковая диагностика доброкачественных объемных образований мягких тканей кисти и предплечья / И.Ю. Насникова, Н.А. Еськин, А.И. Финешин [и др.] // Кремлевская медицина. Клинический вестник. — 2011. — № 1. — С. 77-84.
33. Олюнин, Ю.А. Ревматоидная кисть (Часть II) / Ю.А. Олюнин, А.В. Смирнов // Современная ревматология. — 2010. — № 1. — С. 18-22.

34. Петухов, Н.И. Туннельные синдромы верхней конечности / Н.И. Петухов // Мануальная терапия. — 2014. — Т. 54, № 2. — С. 92-96.
35. Попелянский, Я.Ю. Болезни периферической нервной системы: руководство для врачей / Я.Ю. Попелянский // М.: МЕДпресс-информ, 2005. — 386 с.
36. Прилепская, О.А. Синдром запястного канала у пациентов терминальной почечной недостаточностью, проходящих лечение программным гемодиализом: узость проблемы и широта решений / О.А. Прилепская, О.А. Кичерова, Л.И. Рейхерт // Тюменский медицинский журнал. — 2016. — Т. 18, № 2. — С. 35-38.
37. Ренц, Н.А. Наш опыт хирургического лечения компрессионных нейропатий / Н.А. Ренц, О.П. Булгаков, В.В. Шпилевой [и др.] // Гений ортопедии. — 2010. — № 1. — С. 68-70.
38. Ролак, Л.А. Секреты неврологии. Пер. с англ. под ред. проф. О.С. Левина / Л.А. Ролак // М.: БИНОМ, 2012. — 584 с.
39. Салтыкова, В.Г. Методика высокоразрешающего ультразвукового исследования неизмененного лучевого нерва / В.Г. Салтыкова // Ультразвуковая и функциональная диагностика. — 2010. — № 6. — С. 82-89.
40. Салтыкова, В.Г. Нормальная эхографическая картина периферических нервов / В.Г. Салтыкова // Ультразвуковая и функциональная диагностика. — 2007. — № 3. — С. 74-82.
41. Салтыкова, В.Г. Роль ультразвукового исследования в диагностике туннельных невропатий / В.Г. Салтыкова // Ультразвуковая и функциональная диагностика. — 2011. — № 4. — С. 43-56.
42. Салтыкова, В.Г. Ультразвуковая диагностика состояния периферических нервов (норма, повреждения, заболевания): Автореф. дис. … д-ра мед. Наук / В.Г. Салтыкова . — М., 2011. — 49 с.
43. Салтыкова, В.Г. Диагностика состояния лучевого нерва при переломах плечевой кости / В.Г. Салтыкова, И.О. Голубев, М.В Меркулов [и др.] //

Ультразвуковая и функциональная диагностика. — 2012. — № 3. — С. 76-88.

44. Салтыкова, В.Г. Роль ультразвукового исследования при планировании объема пластики периферических нервов / В.Г. Салтыкова, И.О. Голубев, М.В Меркулов [и др.] // Ультразвуковая и функциональная диагностика. — 2012. — № 4. — С. 62-69.
45. Салтыкова, В.Г. Возможности ультразвукового исследования в диагностике опухолей периферических нервов / В.Г. Салтыкова, И.Н. Карпов, И.В. Никитина [и др.] // Ультразвуковая и функциональная диагностика. — 2009. — № 3. — С. 48-59.
46. Салтыкова, В.Г. Ультразвуковая диагностика редких форм псевдоопухолевых образований периферических нервов / В.Г. Салтыкова, М.В Меркулов // Ультразвуковая и функциональная диагностика. — 2011. — № 3. — С. 52-58.
47. Салтыкова, В.Г. Роль эхографии в исследовании периферических нервов конечностей / В.Г. Салтыкова, М.Д. Митькова // Ультразвуковая и функциональная диагностика. — 2011. — № 3. — С. 93-106.
48. Салтыкова, В.Г. Возможности высокоразрешающего ультразвукового сканирования в диагностике состояния структур карпального канала при развитии туннельного синдрома / В.Г. Салтыкова, А.В. Шток // Ультразвуковая и функциональная диагностика. — 2009. — № 4. — С. 47-59.
49. Скороглядов, А.В Ультразвуковая диагностика в хирургии кисти / А.В. Скороглядов, Д.А. Магдиев, И.Г. Чуловская // Лечебное дело. — 2008. — № 3. — С. 85-88.
50. Скоромец, А.А. Туннельные компрессионно-ишемические моно- и мультиневропатии. - 2-е изд., испр. И доп. / А.А. Скоромец, Д.Г. Герман, М.В. Ирецкая [и др.] // М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. — 360 с.
51. Супонева, Н.А. Карпальный туннельный синдром: основные вопросы диагностики, лечения и реабилитации (обзор) / Н.А. Супонева, М.А.

Пирадов, Е.В. Гнедовская [и др.] // Ульяновский медико-биологический журнал. — 2016. — № 2. — С. 91-97.

52. Трошкин, А.Ю. Особенности реабилитации больных и осложнения перелома дистального метаэпифиза лучевой кости / А.Ю. Трошкин // Бюллетень медицинских интернет-конференций. — 2014. — Т. 4, № 5. — С. 844.
53. Филатова, Е.С. Синдром карпального канала при ревматических заболеваниях / Е.С. Филатова // Нервно-мышечные болезни. — 2014. — № 2. — С. 27-31.
54. Хвисюк, Н.И. Ультрасонографическое исследование после передней подкожной транспозиции локтевого нерва / Н.И. Хвисюк, С.А. Голобородько, С.К. Рамалданов // Новости хирургии. — 2016. — Т. 24, № 3. — С. 265-268.
55. Хофер, М. Ультразвуковая диагностика. Базовый курс. 2-е изд. / М. Хофер // М.: Медицинская литература, 2013. — 128 с.
56. Цымбалюк, В.И. Эндоскопическая декомпрессия срединного нерва у пациентов с синдромом канала запястья / В.И. Цымбалюк, Ю.Л. Чирка // Украинский нейрохирургический журнал. — 2015. — № 2. — С. 54-58.
57. Чуловская, И.Г. Ультрасонография периферических нервов предплечья и кисти в норме и при патологии / И.Г. Чуловская // Российский медицинский журнал. — 2010. — № 3. — С. 45-47.
58. Чуловская, И.Г. Возможности ультрасонографии в диагностике повреждений периферических нервов верхней конечности / И.Г. Чуловская, В.Ф. Коршунов, Н.А. Еськин // Радиология – практика. — 2005. — № 3. — С. 11-16.
59. Чуловская, И.Г. Использование эхографии при восстановительном лечении больных с повреждениями периферических нервов предплечья / И.Г. Чуловская, А.В. Скороглядов, Н.А. Еськин [и др.] // Лечебное дело. — 2007. — № 1. — С. 75-80.

60. Чуловская, И.Г. Ультрасонографическая диагностика заболеваний мягких тканей кисти и предплечья / И.Г. Чуловская, А.В. Скороглядов, Н.А. Еськин [и др.] // Кремлевская медицина. Клинический вестник. — 2007. — № 1. — С. 86-88.
61. Широков, В.А. Компрессионные невропатии верхних конечностей: патофизиологические особенности, подходы к диагностике (обзор литературы) / В.А. Широков, Е.В. Бахтерева, Е.Л. Лейдерман [и др.] // Российский журнал боли. — 2011. — № 1. — С. 38-42.
62. Шифман, Е.М. Синдром запястного канала. клинические рекомендации (проект) / Е.М. Шифман, А.В. Куликов, А.Ю. Лубнин // Тольяттинский медицинский консилиум. — 2014. — № 1-2. — С. 21.
63. Шмидт, Г. Ультразвуковая диагностика. Практическое руководство / Пер. с англ. под общ. ред. проф. А.В.Зубарева / Г. Шмидт // М. : МЕДпресс-информ, 2009. — 560 с.
64. Abicalaf, C.A. Ultrasound evaluation of patients with carpal tunnel syndrome before and after endoscopic release of the transverse carpal ligament / C.A. Abicalaf, N. Barros, R.A Sernik. [et al.] // Clin Radiol. — 2007. — Vol. 62, no. 9. — P. 891-4.
65. Ali, E. Inflammatory posterior interosseous nerve palsy in a patient with psoriatic arthropathy / E. Ali, R. Colaço, P. Gillespie // J Plast Reconstr Aesthet Surg. — 2011. — Vol. 64, no. 8. — P. e205-7.
66. Alshami, A.M. Reliability and size of the measurement error when determining the cross-sectional area of the tibial nerve at the tarsal tunnel with ultrasonography / A.M. Alshami, C.W. Cairns, B.K. Wylie [et al.] // Ultrasound Med Biol. — 2009. — Vol. 35, no. 7. — P. 1098-102.
67. Altinok, T. Ultrasonographic assessment of mild and moderate idiopathic carpal tunnel syndrome / T. Altinok, O. Baysal, H.M. Karakas // Clin Radiol. — 2004. — Vol. 59, no. 10. — P. 916-25.
68. Ashraf, A.R. The diagnostic value of ultrasonography in patients with electrophysiologicaly confirmed carpal tunnel syndrome / Ashraf A.R., Jali

R., Moghtaderi A.R. [et al.] // Electromyogr Clin Neurophysiol. — 2009. — Vol. 49, no. 1. — P. 3-8.

69. Atroshi, I. Diagnostic properties of nerve conduction tests in population-based carpal tunnel syndrome / Atroshi I., Gummesson C., Johnsson R. [et al.] // BMC Musculoskelet Disord. — 2003. — no. 7. — P. 4:9.
70. Atroshi, I. Prevalence of carpal tunnel syndrome in a general population / Atroshi I., Gummesson C., Johnsson R. [et al.] // JAMA. — 1999. — Vol. 281, no. 2. — P. 153-158.
71. Ayromlou, H. Diagnostic value of ultrasonography and magnetic resonance imaging in ulnar neuropathy at the elbow / Ayromlou H., Tarzamni M.K., Daghighi M.H. [et al.] // ISRN Neurol. — 2012. — Article ID 491892. — P. 6.
72. Bachoura, A. Ulnar tunnel syndrome / A. Bachoura, S.M. Jacoby // Orthop Clin North Am. — 2012. — Vol. 43, no. 4. — P. 467-74.
73. Balakrishnan, A. Intraneural lipoma of the ulnar nerve at the elbow: A case report and literature review / A. Balakrishnan, Y.J. Chang, D.A. Elliott [et al.] // Can J Plast Surg. — 2012. — Vol. 20, no. 3. — P. e42-3.
74. Bartels, E. Ultrasonography of peripheral nerves - Clinical significance / E. Bartels [et al.] // Perspectives in Medicine. — 2012. — Vol. 1, no. 1. — P. 422-6.
75. Basiri, K. Practical approach to electrodiagnosis of the carpal tunnel syndrome: A review / K. Basiri, B. Katirji // Adv Biomed Res. — 2015. — no. 17. — P. 4:50. doi: 10.4103/2277-9175.151552. eCollection 2015.
76. Bayrak, A.O. Ultrasonography in patients with ulnar neuropathy at the elbow: comparison of cross-sectional area and swelling ratio with electrophysiological severity / A.O. Bayrak, I.K. Bayrak, H. Turker [et al.] // Muscle Nerve. — 2010. — Vol. 41, no. 5. — P. 661-6.
77. Bayrak, I.K. Bifid median nerve in patients with carpal tunnel syndrome / I.K. Bayrak, A.O. Bayrak, M. Kale [et al.] // J Ultrasound Med. — 2008. — Vol. 27, no. 8. — P. 1129-36.

78. Bayrak, I.K. Ultrasonography in carpal tunnel syndrome: comparison with electrophysiological stage and motor unit number estimate / I.K. Bayrak, A.O. Bayrak, H.E. Tilki [et al.] // Muscle Nerve. — 2007. — Vol. 35, no. 3. — P. 344-8.
79. Becker, J. Is carpal tunnel syndrome a slow, chronic, progressive nerve entrapment? / J. Becker, R.S. Scalco, F. Pietroski [et al.] // Clin Neurophysiol. — 2014. — Vol. 125, no. 3. — P. 642-6.
80. Beekman, R. Clinical, electrodiagnostic, and sonographic studies in ulnar neuropathy at the elbow / R. Beekman, J.P. Van Der Plas, B.M. Uitdehaag [et al.] // Muscle Nerve. — 2004. — Vol. 30, no. 2. — P. 202-8.
81. Bencardino, J.T. Entrapment neuropathies of the shoulder and elbow in the athlete / Bencardino J.T., Rosenberg Z.S // Clin Sports Med. — 2006. — Vol. 25, no. 3. — P. 465-87.
82. Berton, C. The supinator muscle: anatomical bases for deep branch of the radial nerve entrapment / C. Berton, G. Wavreille, F. Lecomte [et al.] // Surg Radiol Anat. — 2013. — Vol. 35, no. 3. — P. 217-24.
83. Bianchi, S. Ultrasound of the peripheral nerves / S. Bianchi // Joint Bone Spine. — 2008. — Vol. 75, no. 6. — P. 643-9.
84. Bianchi, S. Ultrasound of the Musculoskeletal System / S. Bianchi, C. Martinoli // Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2007. — 974 p.
85. Bindra, R.R. The use of routine wrist radiography in the evaluation of patients with carpal tunnel syndrome / R.R. Bindra, B.A. Evanoff, L.Y. Chough [et al.] // J Hand Surg Am. — 1997. — Vol. 22, no. 1. — P. 115-9.
86. Bingol, U.A. Ganglion cyst associated with triangular fibrocartilage complex tear that caused ulnar nerve compression / U.A. Bingol, C. Cinar, N. Tasdelen // Plast Reconstr Surg Glob Open. — 2015. — Vol. 3, no. 3. — P. e318.
87. Bodner, G. Ultrasonographic appearance of supinator syndrome / G. Bodner, C. Harpf, R. Meirer [et al.] // J Ultrasound Med. — 2002. — Vol. 21, no. 11. — P. 1289-93.

88. Bodor, M. Ultrasonography of the hand, wrist, and elbow / M. Bodor, B. Fullerton // Phys Med Rehabil Clin N Am. — 2010. — Vol. 21, no. 3. — P. 509-31.
89. Bouche, P. Compression and entrapment neuropathies / P. Bouche // Handb Clin Neurol. — 2013. — no. 115. — P. 311-66.
90. Bruhn, J. Soft tissue landmark for ultrasound identification of the sciatic nerve in the infragluteal region: the tendon of the long head of the biceps femoris muscle / J. Bruhn, N. Moayeri, G.J. Groen [et al.] // Acta Anaesthesiol Scand. — 2009. — Vol. 53, no. 7. — P. 921-925.
91. Buchberger, W. High-resolution ultrasonography of the carpal tunnel / W. Buchberger, G. Schön, K. Strasser [et al.] // J Ultrasound Med. — 1991. — Vol. 10, no. 10. — P. 531-7.
92. Buchberger, W. Carpal tunnel syndrome: diagnosis with high-resolution sonography / W. Buchberger, W. Judmaier, G. Birbamer [et al.] // AJR. — 1992. — Vol. 159, no. 4. — P. 793-798.
93. Burns, P.B. Predictors of functional outcomes after simple decompression for ulnar neuropathy at the elbow: a multicenter study by the SUN study group / P.B. Burns, H.M. Kim, R.G. Gaston [et al.] // Arch Phys Med Rehabil. — 2014. — Vol. 95, no. 4. — P. 680-5.
94. Caliandro, P. Treatment for ulnar neuropathy at the elbow / P. Caliandro, G. La Torre, R. Padua [et al.] // Cochrane Database Syst Rev. — 2012. — Vol. 11, no. 7. — P. CD006839. doi: 10.1002/14651858.CD006839.pub3.
95. Campagna, R. MRI assessment of recurrent carpal tunnel syndrome after open surgical release of the median nerve / R. Campagna, E. Pessis [et al.] // AJR. — 2009. — Vol. 193, no. 3. — P. 644–650.
96. Campbell, W.W. Evaluation and management of peripheral nerve injury / W.W. Campbell // Clinical Neurophysiology. — 2008. — Vol. 119, no. 9. — P. 1951–1965.

97. Campbell, W.W. Controversial entrapment neuropathies / W.W. Campbell, M.E. Landau // Neurosurg Clin N Am. — 2008. — Vol. 19, no. 4. — P. 597-608.
98. Cartwright, M.S. Diagnostic ultrasound for nerve transection / M.S. Cartwright, G.D. Chloros, F.O. Walker [et al.] // Muscle Nerve. — 2007. — Vol. 35, no. 6. — P. 796-9.
99. Cartwright, M.S. American Association of Neuromuscular and Electrodiagnostic Medicine. Evidence-based guideline: neuromuscular ultrasound for the diagnosis of carpal tunnel syndrome / M.S. Cartwright, L.D. Hobson-Webb, A.J. Boon [et al.] // Muscle Nerve. — 2012. — Vol. 46, no. 2. — P. 287-93.
100. Cartwright, M.S. Ultrasonographic findings of the normal ulnar nerve in adults / M.S. Cartwright, H.W. Shin, L.V. Passmore [et al.] // Arch Phys Med Rehabil. — 2007. — Vol. 88, no. 3. — P. 394-6.
101. Cartwright, M.S. Diagnostic ultrasound for traumatic radial neuropathy / M.S. Cartwright, J.S. Yoon, K.H. Lee [et al.] // Am J Phys Med Rehabil. — 2011. — Vol. 90, no. 4. — P. 342-3.
102. Chan, J.K. Posterior interosseous nerve palsy in rheumatoid arthritis: case report and literature review / J.K. Chan, R. Kennett, G. Smith // J Plast Reconstr Aesthet Surg. — 2009. — Vol. 62, no. 12. — P. e556-60.
103. Chen, J. Ultrasonographic reference values for assessing normal radial nerve ultrasonography in the normal population / J. Chen, S. Wu, J. Ren // Neural Regen Res. — 2014. — Vol. 9, no. 20. — P. 1844-9.
104. Chen, L.C. Ultrasound-Guided Pulsed Radiofrequency for Carpal Tunnel Syndrome: A Single-Blinded Randomized Controlled Study / L.C. Chen, C.W. Ho, C.H. Sun [et al.] // PLoS One. — 2015. — Vol. 10, no. 6. — P. e0129918.
105. Chen, S.F. Ultrasonographic median nerve cross-section areas measured by 8-point "inching test" for idiopathic carpal tunnel syndrome: a correlation of nerve conduction study severity and duration of clinical symptoms. / S.F.

Chen, C.H. Lu, C.R. Huang [et al.] // BMC Med Imaging. — 2011. — no. 21. — P. 11:22.

106. Chen, S.H. Ulnar tunnel syndrome / S.H. Chen, T.M. Tsai // J Hand Surg Am. — 2014. — Vol. 39, no. 3. — P. 571-9.
107. Cherchel, A. The humeral origin of the brachioradialis muscle: an unusual site of high radial nerve compression / A. Cherchel, C. Zirak, A. De Mey // J Plast Reconstr Aesthet Surg. — 2013. — Vol. 66, no. 11. — P. e325-7.
108. Chhabra, A. Advanced MR neurography imaging of radial nerve entrapment at the spiral groove: a case report / Chhabra A., Deune G.E., Murano E. // J Reconstr Microsurg. — 2012. — Vol. 28, no. 4. — P. 263-6.
109. Chhabra, A. High-resolution 3T MR neurography of the brachial plexus and its branches, with emphasis on 3D imaging / A. Chhabra, G.K. Thawait, T. Soldatos [et al.] // AJNR Am J Neuroradiol. — 2013. — Vol. 34, no. 3. — P. 486-97.
110. Chimenti, P.C. Ulnar neuropathy at the elbow: an evidence-based algorithm / P.C. Chimenti, W.C. Hammert // Hand Clin. — 2013. — Vol. 29, no. 3. — P. 435-42.
111. Chiou, H.J. Cubital tunnel syndrome: diagnosis by high-resolution ultrasonography / H.J. Chiou, Y.H. Chou, S.P. Cheng [et al.] // J Ultrasound Med. — 1998. — Vol. 17, no. 10. — P. 643-8.
112. Choi, C.K. Clinical implications of real-time visualized ultrasound-guided injection for the treatment of ulnar neuropathy at the elbow: a pilot study / C.K. Choi, H.S. Lee, J.Y. Kwon [et al.] // Ann Rehabil Med. — 2015. — Vol. 39, no. 2. — P. 176-82.
113. Choi, S.J. Ultrasonography for nerve compression syndromes of the upper extremity / S.J. Choi, J.H. Ahn, D.S. Ryu [et al.] // Ultrasonography. — 2015. — no. 13. — P. 1-17.
114. Claassen, H. Variation in the hypothenar muscles and its impact on ulnar tunnel syndrome / Claassen H., Schmitt O., Schulze M. [et al.] // Surg Radiol Anat. — 2013. — Vol. 35, no. 10. — P. 893-9.

115. Clavert, P. Frohse's arcade is not the exclusive compression site of the radial nerve in its tunnel / P. Clavert, J.C. Lutz, P. Adam [et al.] // Orthop Traumatol Surg Res. — 2009. — Vol. 95, no. 2. — P. 114-8.
116. Colak, A. Use of sonography in carpal tunnel syndrome surgery. A prospective study / A. Colak, M. Kutlay, Z. Pekkafali [et al.] // Neurol Med Chir (Tokyo). — 2007. — Vol. 47, no. 3. — P. 109-15.
117. Colbert, S.H. Case report: intraneural ganglion cyst of the ulnar nerve at the wrist / S.H. Colbert, M.H. Le // Hand (N Y). — 2011. — Vol. 6, no. 3. — P. 317-20.
118. Cragg, B.G. Changes in conduction velocity and fiber size proximal to peripheral nerve lesions / B.G. Cragg, P.K. Thomas // J. Physiol. — 1961. — Vol. 157, no. 2. — P. 315–327.
119. Cranford, C.S. Carpal tunnel syndrome / C.S. Cranford, J.Y. Ho, D.M. Kalainov [et al.] // J Am Acad Orthop Surg. — 2007. — Vol. 15, no. 9. — P. 537-48.
120. Cudlip, S.A. Magnetic resonance neurography studies of the median nerve before and after carpal tunnel decompression / S.A. Cudlip, F.A. Howe, A. Clifton [et al.] // J Neurosurg. — 2002. — Vol. 96, no. 6. — P. 1046-1051.
121. Dang, A.C. Unusual compression neuropathies of the forearm, part I: radial nerve / A.C. Dang, C.M. Rodner // J Hand Surg Am. — 2009. — Vol. 34, no. 10. — P. 1906-14.
122. Demircay, E. Anatomic variations of the median nerve in the carpal tunnel: a brief review of the literature / E. Demircay, E. Civelek, T. Cansever [et al.] // Turk Neurosurg. — 2011. — Vol. 21, no. 3. — P. 388-96.
123. Deniz, F.E. Comparison of the diagnostic utility of electromyography, ultrasonography, computed tomography, and magnetic resonance imaging in idiopathic carpal tunnel syndrome determined by clinical findings / F.E. Deniz, E. Oksüz, B. Sarikaya [et al.] // Neurosurgery. — 2012. — Vol. 70, no. 3. — P. 610-6.

124. Descatha, A. Meta-analysis on the performance of sonography for the diagnosis of carpal tunnel syndrome / A. Descatha, L. Huard, F. Aubert [et al.] // Semin Arthritis Rheum. — 2012. — Vol. 41, no. 6. — P. 914-22.

125. Ding, W.Q. Three-dimensional display of peripheral nerves in the wrist region based on MR diffusion tensor imaging and maximum intensity projection post-processing / W.Q. Ding, X.J. Zhou, J.B. Tang [et al.] // Eur J Radiol. — 2015. — Vol. 84, no. 6. — P. 1116-27.

126. Djurdjevic, T. High resolution ultrasound in posterior interosseous nerve syndrome / Djurdjevic T., Loizides A., Löscher W. [et al.] // Muscle Nerve. — 2014. — Vol. 49, no. 1. — P. 35-9.

127. Dobson, P.F. Delayed ulnar nerve palsy secondary to ulnar artery pseudoaneurysm distal to Guyon's canal following penetrating trauma to the hand / P.F. Dobson, B. Purushothaman, Y. Michla [et al.] // Ann R Coll Surg Engl. — 2013. — Vol. 95, no. 5. — P. e75-6.

128. Duckworth, A.D. Diagnosing carpal tunnel syndrome / A.D. Duckworth, P.J. Jenkins, J.E. McEachan // J Hand Surg Am. — 2014. — Vol. 39, no. 7. — P. 1403-7.

129. Duncan, I. Sonography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome / I. Duncan, P. Sullivan, F. Lomas // AJR. — 1999. — Vol. 173, no. 3. — P. 681–684.

130. Ebrahimpour, A. Spontaneous radial nerve palsy subsequent to non-traumatic neuroma / A. Ebrahimpour, S. Nazerani, R. Tavakoli Darestani [et al.] // Trauma Mon. — 2013. — Vol. 18, no. 2. — P. 98-100.

131. Ekiz, T. Ultrasonographic diagnosis of posterior interosseous nerve entrapment due to ganglion cyst in a patient with rheumatoid arthritis / T. Ekiz, G.T. Oztürk, S. Yalçın [et al.] // Rheumatology (Oxford). — 2014. — Vol. 53, no. 12. — P. 2208.

132. Eser, F. Etiological factors of traumatic peripheral nerve injuries / F. Eser, L.A. Aktekin, H. Bodur [et al.] // Neurol India. — 2009. — Vol. 57, no. 4. — P. 434-7.

133. Ferdinand, B.D. MR imaging features of radial tunnel syndrome: initial experience / B.D. Ferdinand, Z.S. Rosenberg, M.E. Schweitzer [et al.] // Radiology. — 2006. — Vol. 240, no. 1. — P. 161-8.

134. Floranda, E.E. Evaluation and treatment of upper extremity nerve entrapment syndromes / E.E. Floranda, B.C. Jacobs // Prim Care. — 2013. — Vol. 40, no. 4. — P. 925-43.

135. Fornage, B.D. Peripheral nerves of the extremities imaging with US / B.D. Fornage // Radiology. — 1988. — Vol. 167, no. 1. — P. 179-182.

136. Fowler, J.R. The sensitivity and specificity of ultrasound for the diagnosis of carpal tunnel syndrome: a meta-analysis / J.R. Fowler, J.P. Gaughan, A.M. Ilyas // Clin Orthop Relat Res. — 2011. — Vol. 469, no. 4. — P. 1089-94.

137. Geffen, G.J. Correlation between ultrasound imaging, cross-sectional anatomy, and histology of the brachial plexus: a review / G.J. Geffen, N. Moayeri, J. Bruhn [et al.] // Reg Anesth Pain Med. — 2009. — Vol. 35, no. 5. — P. 490-497.

138. Ghasemi-Esfe, A.R. Combination of high-resolution and color Doppler ultrasound in diagnosis of carpal tunnel syndrome / A.R. Ghasemi-Esfe, O. Khalilzadeh, M. Mazloumi [et al.] // Acta Radiol. — 2011. — Vol. 52, no. 2. — P. 191-7.

139. Ghasemi-Esfe, A.R. Color and power Doppler US for diagnosing carpal tunnel syndrome and determining its severity: a quantitative image processing method / A.R. Ghasemi-Esfe, O. Khalilzadeh, S.M. Vaziri-Bozorg [et al.] // Radiology. — 2011. — Vol. 262, no. 2. — P. 499-506.

140. Ghasemi-Rad, M. A handy review of carpal tunnel syndrome: From anatomy to diagnosis and treatment / M. Ghasemi-Rad, E. Nosair, A. Vegh [et al.] // World J Radiol. — 2014. — Vol. 6, no. 6. — P. 284-300.

141. Giersiepen, K. Carpal tunnel syndrome as an occupational disease / K. Giersiepen, M. Spallek // Dtsch Arztebl Int. — 2011. — Vol. 108, no. 14. — P. 238-42.

142. Goedee, H.S. Multifocal enlargement and increasedvascularization of peripheral nerves detected by sonography in CIDP: a pilot study / H.S. Goedee, G.J. Brekelmans, L.H. Visser // . — 2014. — Vol. 125, no. 1. — P. 154-9.

143. Graif, M. Sciatic nerve: sonographic evaluation and anatomic-pathologic considerations / M. Graif, A. Seton, J. Nerubai [et al.] // Radiology. — 1991. — Vol. 181, no. 2. — P. 405-408.

144. Grassmann, J.P. Radial nerve palsy associated with humeral shaft fractures - early exploration or expectant procedure? An analysis concerning current strategies of treatment / J.P. Grassmann, P. Jungbluth, L. Bullermann [et al.] // Z Orthop Unfall. — 2010. — Vol. 148, no. 6. — P. 691-6.

145. Hagedorn, J.M. Posterior interosseus nerve entrapment following Monteggia fracture dislocation / J.M. Hagedorn, L.M. Reichel // J Hand Surg Am. — 2014. — Vol. 39, no. 2. — P. 400-2.

146. Hammer, H.B. Ultrasonography shows increased cross-sectional area of the median nerve in patients with arthritis and carpal tunnel syndrome / H.B. Hammer, I.A. Hovden, E.A. Haavardsholm [et al.] // Rheumatology (Oxford). — 2006. — Vol. 45, no. 5. — P. 584-8.

147. Han, B.R. Clinical features of wrist drop caused by compressive radial neuropathy and its anatomical considerations / B.R. Han, Y.J. Cho, J.S. Yang [et al.] // J Korean Neurosurg Soc. — 2014. — Vol. 55, no. 3. — P. 148-51.

148. Hariri, S. Nerve injuries about the elbow / S. Hariri, T.R. McAdams // Clin Sports Med. — 2010. — Vol. 29, no. 4. — P. 655-75.

149. Haun, D.W. Normative cross-sectional area of the C5-C8 nerve roots using ultrasonography / D.W. Haun, J.C. Cho, N.W. Kettner // Ultrasound Med Biol. — 2010. — Vol. 36, no. 9. — P. 1422-30.

150. Hazani, R. Anatomic landmarks for the radial tunnel / R. Hazani, N.J. Engineer, A. Mowlavi [et al.] // Eplasty. — 2008. — no. 8. — P. e37.

151. Hobson-Webb, L.D. The ultrasonographic wrist-to-forearm median nerve area ratio in carpal tunnel syndrome / L.D. Hobson-Webb, J.M. Massey, V.C. Juel [et al.] // Clin Neurophysiol. — 2008. — Vol. 119, no. 6. — P. 1353-7.

152. Hobson-Webb, L.D. Median nerve ultrasonography in carpal tunnel syndrome: findings from two laboratories / L.D. Hobson-Webb, L. Padua // Muscle Nerve. — 2009. — Vol. 40, no. 1. — P. 94-7.

153. Hogan, Q.H. Lumbar epidural anatomy / Q.H. Hogan // Anesthesiology. — 1991. — Vol. 75, no. 5. — P. 767-775.

154. Huang, Y.G. Double crush syndrome due to plating of humeral shaft fracture / Y.G. Huang, S.M. Chang // Indian J Orthop. — 2014. — Vol. 48, no. 2. — P. 223-5.

155. Huisstede, B.M. Carpal tunnel syndrome. Part I: effectiveness of nonsurgical treatments - a systematic review / B.M. Huisstede, P. Hoogvliet, M.S. Randsdorp [et al.] // Arch Phys Med Rehabil. — 2010. — Vol. 91, no. 7. — P. 981-1004.

156. Huisstede, B.M. Carpal tunnel syndrome. Part II: effectiveness of surgical treatments--a systematic review / B.M. Huisstede, M.S. Randsdorp, J.H. Coert [et al.] // Arch Phys Med Rehabil. — 2010. — Vol. 91, no. 7. — P. 1005-24.

157. Ibrahim, I. Carpal Tunnel Syndrome: A Review of the Recent Literature / I. Ibrahim, W.S. Khan, N. Goddard [et al.] // Open Orthopaedics Journal. — 2012. — no. 6 (Suppl 1: M8). — P. 69-76.

158. Jablecki, C.K. Report of the American Academy of Neurology, American Association of Electrodiagnostic Medicine, and American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation. Practice parameter: Electrodiagnostic studies in carpal tunnel syndrome / C.K. Jablecki, M.T. Andary, M.K. Floeter [et al.] // Neurology. — 2002. — Vol. 58, no. 11. — P. 1589–1592.

159. Jacob, D. Sonoanatomy of the ulnar nerve in the cubital tunnel: a multicentre study by the GEL / D. Jacob, V. Creteur, C. Courthaliac [et al.] // Eur Radiol 2004. — 2004. — Vol. 14, no. 10. — P. 1770–1773.

160. Jarvik, J.G. MR nerve imaging in a prospective cohort of patients with suspected carpal tunnel syndrome / J.G. Jarvik, E. Yuen, D.R. Haynor [et al.] // Neurology. — 2002. — Vol. 58, no. 11. — P. 1597-602.
161. Jengojan, S. Acute radial nerve entrapment at the spiral groove: detection by DTI-based neurography / S. Jengojan, F. Kovar, J. Breitenseher [et al.] // Eur Radiol. — 2015. — Vol. 25, no. 6. — P. 1678-83.
162. Jeon, I.H. High bifurcation of median nerve at the wrist causing common digital nerve injury in endoscopic carpal tunnel release / I.H. Jeon, P.T. Kim, I.H. Park [et al.] // J Hand Surg Br. — 2002. — Vol. 27, no. 6. — P. 580-2.
163. Julius, A. Shoulder posture and median nerve sliding / A. Julius, R. Lees, A. Dilley [et al.] // BMC Musculoskelet Disord. — 2004. — no. 4. — P. 23.
164. Juvenspan, M. Dupuytren's disease involving Guyon's canal / M. Juvenspan, C. Schlur, L. Thomsen [et al.] // Chir Main. — 2014. — Vol. 33, no. 3. — P. 224-6.
165. Kang, H.J. Carpal tunnel syndrome caused by space occupying lesions / H.J. Kang, S.H. Jung, H.K. Yoon [et al.] // Yonsei Med J. — 2009. — Vol. 50, no. 2. — P. 257-61.
166. Kang, S. Ultrasonography of median nerve and electrophysiologic severity in carpal tunnel syndrome / S. Kang, H.K. Kwon, K.H. Kim [et al.] // Ann Rehabil Med. — 2012. — Vol. 36, no. 1. — P. 72-9.
167. Karabay, N. Ultrasonographic evaluation of the iatrogenic peripheral nerve injuries in upper extremity / N. Karabay, T. Toros, Y. Ademoğlu [et al.] // Eur J Radiol. — 2010. — Vol. 73, no. 2. — P. 234-40.
168. Karadağ, Y.S. Severity of Carpal tunnel syndrome assessed with high frequency ultrasonography / Y.S. Karadağ, O. Karadağ, E. Ciçekli [et al.] // Rheumatol Int. — 2010. — Vol. 30, no. 6. — P. 761-5.
169. Keberle, M. Technical advances in ultrasound and MR imaging of carpal tunnel syndrome / M. Keberle, M. Jenett, W. Kenn [et al.] // Eur Radiol. — 2000. — Vol. 10, no. 7. — P. 1043-50.

170. Keith, M.W. American Academy of Orthopaedic Surgeons Clinical Practice Guideline on diagnosis of carpal tunnel syndrome / M.W. Keith, V. Masear, K.C. Chung [et al.] // J Bone Joint Surg Am. — 2009. — Vol. 91, no. 10. — P. 2478-9.
171. Kele, H. The potential value of ultrasonography in the evaluation of carpal tunnel syndrome / H. Kele, R. Verheggen, H.J. Bittermann [et al.] // Neurology. — 2003. — Vol. 61, no. 3. — P. 389-91.
172. Kele, H. Ultrasonography of the peripheral nervous system / H. Kele // Perspectives in Medicine. — 2012. — Vol. 1, no. 1. — P. 417-21.
173. Keleş, I. Diagnostic precision of ultrasonography in patients with carpal tunnel syndrome / I. Keleş, A.T. Karagülle Kendi, G. Aydin [et al.] // Am J Phys Med Rehabil. — 2005. — Vol. 84, no. 6. — P. 443-50.
174. Kerasnoudis, A. Cross sectional area reference values for sonography of peripheral nerves and brachial plexus / A. Kerasnoudis, K. Pitarokoili, V. Behrendt [et al.] // Clin Neurophysiol. — 2013. — Vol. 124, no. 9. — P. 1881-8.
175. Kerasnoudis, A. Nerve ultrasound score in distinguishing chronic from acute inflammatory demyelinating polyneuropathy / A. Kerasnoudis, K. Pitarokoili, V. Behrendt [et al.] // Clin Neurophysiol. — 2014. — Vol. 125, no. 3. — P. 635-41.
176. Kikuchi, Y. MR imaging in the diagnosis of denervated and reinnervated skeletal muscles: experimental study in rats / Y. Kikuchi, T. Nakamura, S. Takayama [et al.] // Radiology. — 2003. — Vol. 229, no. 3. — P. 861-7.
177. Kim, J.H. Diagnostic cutoff value for ultrasonography in the ulnar neuropathy at the elbow / J.H. Kim, S.J. Won, W.I. Rhee [et al.] // Ann Rehabil Med. — 2015. — Vol. 39, no. 2. — P. 170-5.
178. Kim, J.M. Real-time visualization of ultrasonography guided cubital tunnel injection: a cadaveric study / J.M. Kim, H.M. Oh, M.W. Kim // Ann Rehabil Med. — 2012. — Vol. 36, no. 4. — P. 496-500.

179. Kim, J.Y. Compressive radial neuropathy developed under a fibrotic band associated with rhabdomyolysis and successfully treated with surgery / J.Y. Kim, J.W. Lee, S.O. Cha [et al.] // Ann Rehabil Med. — 2014. — Vol. 38, no. 3. — P. 421-6.
180. Kim, K.H. Ultrasonographic findings of superficial radial nerve and cephalic vein / K.H. Kim, E.J. Byun, E.H. Oh // Ann Rehabil Med. — 2014. — Vol. 38, no. 1. — P. 52-6. doi: 10.5535/arm.2014.38.1.52. Epub 2014 Feb 25.
181. Kim, K.H. The usefulness of proximal radial motor conduction in acute compressive radial neuropathy / K.H. Kim, K.D. Park, P.W. Chung [et al.] // J Clin Neurol. — 2015. — Vol. 11, no. 2. — P. 178-82.
182. Kim, N.H. Ulnar neuropathy at the wrist in a patient with carpal tunnel syndrome after open carpal tunnel release / N.H. Kim, D.H. Kim // Ann Rehabil Med. — 2012. — Vol. 36, no. 2. — P. 291-6.
183. Kim, P.T. Current approaches for carpal tunnel syndrome / P.T. Kim, H.J. Lee, T.G. Kim [et al.] // Clin Orthop Surg. — 2014. — Vol. 6, no. 3. — P. 253-7.
184. Klauser, A.S. Carpal tunnel syndrome assessment with US: value of additional cross-sectional area measurements of the median nerve in patients versus healthy volunteers / A.S. Klauser, E.J. Halpern, T. De Zordo [et al.] // Radiology. — 2009. — Vol. 250, no. 1. — P. 171-7.
185. Kohyama, K. Posterior interosseous nerve palsy secondary to pigmented villonodular synovitis of the elbow: case report and review of literature / K. Kohyama, H. Sugiura, K. Yamada [et al.] // Orthop Traumatol Surg Res. — 2013. — Vol. 99, no. 2. — P. 247-51.
186. Kollmer, J. T2-signal of ulnar nerve branches at the wrist in guyon's canal syndrome / J. Kollmer, P. Bäumer, D. Milford [et al.] // PLoS One. — 2012. — Vol. 7, no. 10. — P. e47295.
187. Kopf, H. Diagnostic sonography of peripheral nerves: indications, examination techniques and pathological findings / H. Kopf, A. Loizides,

G.H. Mostbeck [et al.] // Ultraschall Med. — 2011. — Vol. 32, no. 3. — P. 242-63; quiz 264-6.

188. Korompilias, A.V. Approach to radial nerve palsy caused by humerus shaft fracture: is primary exploration necessary? / A.V. Korompilias, M.G. Lykissas, I.P. Kostas-Agnantis [et al.] // Injury. — 2013. — Vol. 44, no. 3. — P. 323-6.
189. Kotevoglu, N. Ultrasound imaging in the diagnosis of carpal tunnel syndrome and its relevance to clinical evaluation / N. Kotevoglu, S. Gülbahce-Saglam // Joint Bone Spine. — 2005. — Vol. 72, no. 2. — P. 142-5.
190. Koyuncuoglu, H.R. The value of ultrasonographic measurement in carpal tunnel syndrome in patients with negative electrodiagnostic tests / H.R. Koyuncuoglu, S. Kutluhan, A. Yesildag [et al.] // Eur J Radiol. — 2005. — Vol. 56, no. 3. — P. 365-9.
191. Kumar, S. Morphology of ulnar nerve in axilla & arm & its variations / S. Kumar, P. Ranganath // Int J Anat Res. — 2014. — Vol. 2, no. 4. — P. 677-80.
192. Kurca, E. Single parameter wrist ultrasonography as a first-line screening examination in suspected carpal tunnel syndrome patients / E. Kurca, V. Nosal, M. Grofik. [et al.] // Bratisl Lek Listy. — 2008. — Vol. 109, no. 4. — P. 177-9.
193. Kursumovic, A. Delayed diagnosed posterior interosseous nerve palsy due to intramuscular myxoma / A. Kursumovic, G. Mattiassich, S. Rath // BMJ Case Rep. — 2013. — no. 9. — P. 1-3. doi:10.1136/bcr-2012-008332.
194. Kwak, K.W. Ulnar Nerve Compression in Guyon's Canal by Ganglion Cyst / K.W. Kwak, M.S. Kim, C.H. Chang [et al.] // J Korean Neurosurg Soc. — 2011. — Vol. 49, no. 2. — P. 139-41.
195. Kwon, B.C. Comparison of sonography and electrodiagnostic testing in the diagnosis of carpal tunnel syndrome / B.C. Kwon, K.I. Jung, G.H. Baek // J Hand Surg Am. — 2008. — Vol. 33, no. 1. — P. 65-71.

196. Kwon, J.Y. Position Change of the Neurovascular Structures around the Carpal Tunnel with Dynamic Wrist Motion / J.Y. Kwon, J.Y. Kim, J.T. Hong [et al.] // J Korean Neurosurg Soc. — 2011. — Vol. 50, no. 4. — P. 377-80.
197. Lämmer, A.B. Ultrasound in dual nerve impairment after proximal radial nerve lesion / A.B. Lämmer, S. Schwab, A. Schramm // PLoS One. — 2015. — Vol. 10, no. 5. — P. e0127456.
198. Latinovic, R. Incidence of common compressive neuropathies in primary care / R. Latinovic, M.C. Gulliford, R.A. Hughes // J Neurol Neurosurg Psychiatry. — 2006. — Vol. 77, no. 2. — P. 263–265.
199. LeBlanc, K.E. Carpal tunnel syndrome / K.E. LeBlanc, W. Cestia // Am Fam Physician. — 2011. — Vol. 83, no. 8. — P. 952-8.
200. Lee, D. Diagnosis of carpal tunnel syndrome. Ultrasound versus electromyography / D. Lee, M.T. van Holsbeeck, P.K. Janevski [et al.] // Radiol Clin North Am. — 1999. — Vol. 37, no. 7. — P. 859-72.
201. Lee, J.T. Long term results of radial tunnel release--the effect of co-existing tennis elbow, multiple compression syndromes and workers' compensation / J.T. Lee, K. Azari, N.F. Jones // J Plast Reconstr Aesthet Surg. — 2008. — Vol. 61, no. 9. — P. 1095-9.
202. Leonard, L. Carpal tunnel syndrome - is high-frequency ultrasound a useful diagnostic tool? / L. Leonard, A. Rangan, G. Doyle [et al.] // J Hand Surg Br. — 2003. — Vol. 28, no. 1. — P. 77-9.
203. Li, M.X. Applied anatomical study of the vascularized ulnar nerve and its blood supply for cubital tunnel syndrome at the elbow region / M.X. Li, Q. He, Z.L. Hu [et al.] // Neural Regen Res. — 2015. — Vol. 10, no. 1. — P. 141-5.
204. Li, Y. Review of literature of radial nerve injuries associated with humeral fractures-an integrated management strategy / Y. Li, G. Ning, Q. Wu [et al.] // PLoS One. — 2013. — Vol. 8, no. 11. — P. e78576.

205. Liu, F. 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, no. 4. — P. e32730.
206. Liu, G.Y. Comparison of initial nonoperative and operative management of radial nerve palsy associated with acute humeral shaft fractures / G.Y. Liu, C.Y. Zhang, H.W. Wu // Orthopedics. — 2012. — Vol. 35, no. 8. — P. 702-8.
207. Loizides, A. Triple hourglass-like fascicular constriction of the posterior interosseous nerve: a rare cause of PIN syndrome / A. Loizides, E.M. Baur, M. Plaikner [et al.] // Arch Orthop Trauma Surg. — 2015. — Vol. 135, no. 5. — P. 635-7.
208. Luchetti, R. Carpal tunnel syndrome / R. Luchetti, P. Amadio // Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2002. — 392 p.
209. Mackinnon, S.E. Pathophysiology of nerve compression / S.E. Mackinnon // Hand Clin. — 2002. — Vol. 18, no. 2. — P. 231-41.
210. Maeseneer, M. Ultrasound of the elbow with emphasis on detailed assessment of ligaments, tendons, and nerves / M. Maeseneer, M.K. Brigido, M. Antic [et al.] // Eur J Radiol. — 2015. — Vol. 84, no. 4. — P. 671-81.
211. Maeseneer, M. Ultrasound of the elbow: a systematic approach using bony landmarks / M. Maeseneer, S. Marcelis, E. Cattrysse [et al.] // Eur J Radiol. — 2012. — Vol. 81, no. 5. — P. 919-22.
212. Malipeddi, A. Posterior interosseous nerve palsy: an unusual complication of rheumatoid arthritis: case report and review of the literature / Malipeddi A., Reddy V.R., Kallarackal G. // Semin Arthritis Rheum. — 2011. — Vol. 40, no. 6. — P. 576-9.
213. Mallouhi, A. Predictors of carpal tunnel syndrome: accuracy of gray-scale and color Doppler sonography / Mallouhi A., Pülzl P., Trieb T. [et al.] // AJR Am J Roentgenol. — 2006. — Vol. 186, no. 5. — P. 1240-5.

214. Martinoli, C. US of nerve entrapments in osteofibrous tunnels of the upper and lower limbs / Martinoli C., Bianchi S. [et al.] // RadioGraphics. — 2000. — no. 20. — P. 199–217.
215. Marx, S.C. Ultrasonographical and histological cross-sectional study of the human superficial branch of the radial nerve / Marx S.C., Dhalapathy S., Marx C.A. [et al.] // Rom J Morphol Embryol. — 2011. — Vol. 52, no. 3. — P. 1081-90.
216. McDonagh, C. The role of ultrasound in the diagnosis and management of carpal tunnel syndrome: a new paradigm / McDonagh C., Alexander M., Kane D. // Rheumatology (Oxford). — 2015. — Vol. 54, no. 1. — P. 9-19.
217. McNally, E.G. Practical Musculoskeletal Ultrasound / E.G. McNally // Oxford: Elsevier, 2005. — 350 p.
218. Meng, S. Ultrasound and anatomical correlation of the radial nerve at the arcade of Frohse / S. Meng, I. Tinhofer, W.J. Weninger [et al.] // Muscle Nerve. — 2015. — Vol. 51, no. 6. — P. 853-8.
219. Merculov, M.V. The influence of induced sympathectomy on human peripheral nerves regeneration after autoneuroplasty / M.V. Merculov, I.O. Golubev, A.I. Krupatkin // Fiziol Cheloveka. — 2015. — Vol. 41, no. 2. — P. 91-7.
220. Mhoon, J.T. Median nerve ultrasound as a screening tool in carpal tunnel syndrome: correlation of cross-sectional area measures with electrodiagnostic abnormality / J.T. Mhoon, V.C. Juel, L.D. \Hobson-Webb // Muscle Nerve. — 2012. — Vol. 46, no. 6. — P. 871-8.
221. Miedany, Y.M. Ultrasonography versus nerve conduction study in patients with carpal tunnel syndrome: substantive or complementary tests? / Y.M. Miedany, S.A. Aty, S. Ashour // Rheumatology (Oxford). — 2004. — Vol. 43, no. 7. — P. 887-95.
222. Miller, T.T. Nerve entrapment syndromes of the elbow, forearm, and wrist / T.T. Miller, W.R. Reinus // AJR Am J Roentgenol. — 2010. — Vol. 195, no. 3. — P. 585-94.

223. Moayeri, N. Correlation among ultrasound, cross-sectional anatomy, and histology of the sciatic nerve: a review / N. Moayeri, G.J. van Geffen, J. Bruhn [et al.] // Reg Anesth Pain Med. — 2010. — Vol. 35, no. 5. — P. 442-449.
224. Moghtaderi, A. Ultrasound evaluation of patients with moderate and severe carpal tunnel syndrome / A. Moghtaderi, S. Sanei-Sistani, N. Sadoughi [et al.] // Prague Med Rep. — 2012. — Vol. 113, no. 1. — P. 23-32.
225. Mohammadi, A. Diagnostic value of cross-sectional area of median nerve in grading severity of carpal tunnel syndrome / A. Mohammadi, A. Afshar, A. Etemadi [et al.] // Arch Iran Med. — 2010. — Vol. 13, no. 6. — P. 516-21.
226. Molinari, W.J. The double crush syndrome / W.J. Molinari 3rd, J.C. Elfar // J Hand Surg Am. — 2013. — Vol. 38, no. 4. — P. 799-801.
227. Monacelli, G. Ulnar artery thrombosis and nerve entrapment at Guyon's canal: our diagnostic and therapeutic algorithm / G. Monacelli, M.I. Rizzo, A.M. Spagnoli [et al.] // In Vivo. — 2010. — Vol. 24, no. 5. — P. 779-82.
228. Mondelli, M. Diagnostic utility of ultrasonography versus nerve conduction studies in mild carpal tunnel syndrome / M. Mondelli, G. Filippou, A. Gallo [et al.] // Arthritis Rheum. — 2008. — Vol. 59, no. 3. — P. 357-66.
229. Mondelli, M. Incidence of ulnar neuropathy at the elbow in the province of Siena (Italy) / M. Mondelli, F. Giannini, M. Ballerini [et al.] // J Neurol Sci. — 2005. — Vol. 234, no. 1-2. — P. 5–10.
230. Moran, L. Sonographic measurement of cross-sectional area of the median nerve in the diagnosis of carpal tunnel syndrome: correlation with nerve conduction studies / L. Moran, M. Perez, A. Esteban [et al.] // J Clin Ultrasound. — 2009. — Vol. 37, no. 3. — P. 125-31.
231. Moritz, T. Utilisation of Ultrasound in the Detection and Assessment of Iatrogenic Peripheral Nerve Injury / T. Moritz, H. Prosch, G. Bodner // Ultrasound Med Biol. — 2011. — Vol. 37, no. 8S. — P. 8.
232. Mosier, B.A. Recurrent carpal tunnel syndrome / B.A. Mosier, T.B. Hughes // Hand Clin. — 2013. — Vol. 29, no. 3. — P. 427-34.

233. Najjim, M. Giant solitary synovial osteochondromatosis of the elbow causing ulnar nerve neuropathy: a case report and review of literature / M. Najjim, A. Mustafa, C. Fenton [et al.] // J Brachial Plex Peripher Nerve Inj. — 2013. — Vol. 8, no. 1. — P. 1.

234. Nakamichi, K. Ultrasonographic measurement of median nerve cross-sectional area in idiopathic carpal tunnel syndrome: Diagnostic accuracy / K. Nakamichi, S. Tachibana // Muscle Nerve. — 2002. — Vol. 26, no. 6. — P. 798-803.

235. Naranjo, A. What is the diagnostic value of ultrasonography compared to physical evaluation in patients with idiopathic carpal tunnel syndrome? / A. Naranjo, S. Ojeda, D. Mendoza [et al.] // Clin Exp Rheumatol. — 2007. — Vol. 25, no. 6. — P. 853-9.

236. Neal, S. Peripheral nerve entrapment and injury in the upperextremity / S. Neal, K.B. Fields // Am Fam Physician. — 2010. — Vol. 81, no. 2. — P. 147-55.

237. Ng, E.S. High resolution ultrasonography in the diagnosis of ulnar nerve lesions with particular reference to post-traumatic lesions and sites outside the elbow / E.S. Ng, J. Vijayan, A.K. Therimadasamy [et al.] // Clin Neurophysiol. — 2011. — Vol. 122, no. 1. — P. 188-93.

238. Niver, G.E. Management of radial nerve palsy following fractures of the humerus / G.E. Niver, A.M. Ilyas // Orthop Clin North Am. — 2013. — Vol. 44, no. 3. — P. 419-24.

239. Oh, J. Morphological changes of collagen fibrils in the subsynovial connective tissue in carpal tunnel syndrome / J. Oh, C. Zhao, M.E. Zobitz [et al.] // J Bone Joint Surg Am. — 2006. — Vol. 88, no. 4. — P. 824-31.

240. Okamoto, M. Morphology and dynamics of the ulnar nerve in the cubital tunnel: observation by ultrasonography / M. Okamoto, M. Abe, H. Shirai [et al.] // J Hand Surg Br. — 2000. — Vol. 25, no. 1. — P. 85–89.

241. Omejec, G. Diagnostic accuracy of ultrasonographic and nerve conduction studies in ulnar neuropathy at the elbow / G. Omejec, T. Zgur, S. Podnar //

Clin Neurophysiol. — 2014. — no. 8. — P. pii: S1388-2457(14) 00843-8. doi: 10.1016/j.clinph.2014.12.001.

242. Ono, S. Optimal management of carpal tunnel syndrome / S. Ono, P.J. Clapham, K.C. Chung // Int J Gen Med. — 2010. — no. 3. — P. 255-61.
243. Ozdemir, O. Ulnar nerve entrapment in Guyon's canal due to recurrent carpal tunnel syndrome: case report / O. Ozdemir, T. Calisaneller, S. Gulsen [et al.] // TurkNeurosurg. — 2011. — Vol. 21, no. 3. — P. 435-7.
244. Padua, L. Ultrasound as a useful tool in the diagnosis and management of traumatic nerve lesions / L. Padua, A. Di Pasquale, G. Liotta [et al.] // Clin Neurophysiol. — 2013. — Vol. 124, no. 6. — P. 1237-43.
245. Padua, L. Heterogeneity of root and nerve ultrasound pattern in CIDP patients / L. Padua, G. Granata, M. Sabatelli [et al.] // Clin Neurophysiol. — 2014. — Vol. 125, no. 1. — P. 160-5.
246. Padua, L. Ultrasound as the first choice for peripheral nerve imaging? / L. Padua, L.D. Hobson-Webb // Neurology. — 2013. — Vol. 80, no. 18. — P. 1626-7.
247. Padua, L. Contribution of ultrasound in the assessment of nerve diseases / L. Padua, G. Liotta, A. Di Pasquale [et al.] // Eur J Neurol. — 2012. — Vol. 19, no. 1. — P. 47-54.
248. Padua, L. Carpal tunnel syndrome: ultrasound, neurophysiology, clinical and patient-oriented assessment / L. Padua, C. Pazzaglia, P. Caliandro [et al.] // Clin Neurophysiol. — 2008. — Vol. 119, no. 9. — P. 2064-9.
249. Paget, J. Ulnar nerve compression in Guyon's canal: MRI does not always have the answer / J. Paget, N. Patel, J. Manushakian // J Surg Case Rep. — 2013. — no. 1. — P. 2. doi:10.1093/jscr/rjs043.
250. Pais, R. Bilateral cubital tunnel syndrome / R. Pais, D. Fodor, T. Fisher // Medical Ultrasonography. — 2009. — Vol. 11, no. 2. — P. 31-36.
251. Palmer, K.T. Carpal tunnel syndrome: the role of occupational factors / K.T. Palmer // Best Pract Res Clin Rheumatol. — 2011. — Vol. 25, no. 1. — P. 5-29.

252. Palumbo, C.F. Examination of patients for carpal tunnel syndrome sensibility, provocative, and motor testing / C.F. Palumbo, R.M. Szabo // Hand Clin. — 2002. — Vol. 18, no. 2. — P. 269-77.
253. Papanastasiou, S. A tried and tested surgical technique for recurrent radial tunnel syndrome / S. Papanastasiou, M.S. Ikram // J Plast Reconstr Aesthet Surg. — 2009. — Vol. 62, no. 5. — P. e83-4.
254. Pastare, D. Sonography versus nerve conduction studies in patients referred with a clinical diagnosis of carpal tunnel syndrome / D. Pastare, A.K. Therimadasamy, E. Lee [et al.] // J Clin Ultrasound. — 2009. — Vol. 37, no. 7. — P. 389-93.
255. Peer, S. High Resolution Sonography of the Peripheral Nervous System / S. Peer, G. Bodner // Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2008. — 207 p.
256. Peer, S. High-resolution sonography of lower extremity peripheral nerves: anatomic correlation and spectrum of disease / S. Peer, P. Kovacs, C. Harpf [et al.] // J Ultrasound Med. — 2002. — Vol. 21, no. 3. — P. 315-322.
257. Peeters, E.Y. Sonography of the normal ulnar nerve at Guyon's canal and of the common peroneal nerve dorsal to the fibular head / E.Y. Peeters, K.H. Nieboer, M.M. Osteaux // J Clin Ultrasound. — 2004. — Vol. 32, no. 8. — P. 375-80.
258. Pierre-Jerome, C. The Guyon's canal in perspective: 3-T MRI assessment of the normal anatomy, the anatomical variations and the Guyon's canal syndrome / C. Pierre-Jerome, V. Moncayo, M.R. Terk // Surg Radiol Anat. — 2011. — Vol. 33, no. 10. — P. 897-903.
259. Pinilla, I. The usefulness of ultrasonography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome / I. Pinilla, C. Martín-Hervás, G. Sordo [et al.] // J Hand Surg Eur. — 2008. — Vol. 33, no. 4. — P. 435-9.
260. Pompe, S.M. Which ultrasonographic measure has the upper hand in ulnar neuropathy at the elbow? / S.M. Pompe, R. Beekman // Clin Neurophysiol. — 2013. — Vol. 124, no. 1. — P. 190-6.

261. Practice parameter for electrodiagnostic studies in ulnar neuropathy at the elbow: summary statement. American Association of Electrodiagnostic Medicine. American Academy of Neurology. American Academy of Physical Medicine, and Rehabilitation // Muscle Nerve. — 1999. — Vol. 22, no. 3. — P. 408–411.

262. Prodromo, J. Management of radial nerve palsy associated with humerus fracture / J. Prodromo, R.J. Goitz // J Hand Surg Am. — 2013. — Vol. 38, no. 5. — P. 995-8.

263. Qi, H.T. The role of ultrasonography and MRI in patients with non-traumatic nerve fascicle torsion of the upper extremity / H.T. Qi, X.M. Wang, S.Y. Li [et al.] // Clin Radiol. — 2013. — Vol. 68, no. 9. — P. e479-83.

264. Quignon, R. Posterior interosseous nerve palsy. A series of 18 cases and literature review / R. Quignon, E. Marteau, A. Penaud [et al.] // Chir Main. — 2012. — Vol. 31, no. 1. — P. 18-23.

265. Rijn, R.M. Burdorf A. Associations between work-related factors and specific disorders at the elbow: a systematic literature review / R.M. Rijn, B.M. Huisstede, B.W. Koes [et al.] // Rheumatology (Oxford). — 2009. — Vol. 48, no. 5. — P. 528-36.

266. Roll, S.C. Diagnostic accuracy of ultrasonography vs. electromyography in carpal tunnel syndrome: a systematic review of literature / S.C. Roll, J. Case-Smith, K.D. Evans // Ultrasound Med Biol. — 2011. — Vol. 37, no. 10. — P. 1539-53.

267. Rozbruch, S.R. Use of ultrasound in detection and treatment of nerve compromise in a case of humeral lengthening / S.R. Rozbruch, C. Fryman, D. Bigman [et al.] // HSS J. — 2011. — Vol. 1, no. 1. — P. 80-4.

268. Saint-Lary, O. Carpal tunnel syndrome: primary care and occupational factors. Front Med (Lausanne) / O. Saint-Lary, A. Rébois, Z. Mediouni [et al.] // Front Med (Lausanne). — 2015. — no. 5. — P. 2:28.

269. Salama, H. Posterior interosseous nerve palsy caused by parosteal lipoma: a case report / H. Salama, P. Kumar, S. Bastawrous // Case Rep Med. — 2010. — no. 8. — P. pii: 785202. doi: 10.1155/2010/785202.

270. Salter, M. Thrombosed persistent median artery causing carpal tunnel syndrome associated with bifurcated median nerve: A case report / M. Salter, N.R. Sinha, W. Szmigielski // Pol J Radiol. — 2011. — Vol. 76, no. 2. — P. 46-8.

271. Saracgil, S.N. Diagnostic significance of ultrasonography in carpal tunnel syndrome and comparison with lectrodiagnostic tests / S.N. Saracgil, M. Karatas, H. Yerli [et al.] // Turkish J Phys Med Rehabil. — 2009. — no. 55. — P. 13–18.

272. Sarica, O. Carpal tunnel syndrome: what is the diagnostic value of usg with high resolution transducers / O. Sarica, A. Kayhan, E. Ozturk // Marmara Medical Journal. — 2010. — Vol. 23, no. 2. — P. 263-269.

273. Sarría, L. Carpal tunnel syndrome: usefulness of sonography / L. Sarría, T. Cabada, R. Cozcolluela [et al.] // Eur Radiol. — 2000. — Vol. 10, no. 12. — P. 1920-5.

274. Scheidl, E. Ultrasonography of ulnar neuropathy at the elbow: axonal involvement leads to greater nerve swelling than demyelinating nerve lesion / E. Scheidl, J. Böhm, Z. Farbaky [et al.] // Clin Neurophysiol. — 2013. — Vol. 124, no. 3. — P. 619-25.

275. Seki, Y. Posterior interosseous nerve palsy due to parosteal lipoma / Y. Seki, Y. Hoshino, H. Kuroda // Neurol India. — 2012. — Vol. 60, no. 6. — P. 644-5.

276. Sernik, R.A. Ultrasound features of carpal tunnel syndrome: a prospective case-control study / R.A. Sernik, C.A. Abicalaf, B.F. Pimentel [et al.] // Skeletal Radiol. — 2008. — Vol. 37, no. 1. — P. 49-53.

277. Seror, P. Sonography and electrodiagnosis in carpal tunnel syndrome diagnosis, an analysis of the literature / P. Seror // Eur J Radiol. — 2008. — Vol. 67, no. 1. — P. 146-52.

278. Shao, Y.C. Radial nerve palsy associated with fractures of the shaft of the humerus: a systematic review / Y.C. Shao, P. Harwood, M.R. Grotz [et al.] // J Bone Joint Surg Br. — 2005. — Vol. 87, no. 12. — P. 1647-52.

279. Silvestri, E. Echotexture of peripheral nerves: correlation between US and histologic findings and criteria to differentiate tendons / E. Silvestri, C. Martinoli, L.E. Derchi [et al.] // Radiology. — 1995. — Vol. 197, no. 1. — P. 291-296.

280. Simon, N.G. A comparison of ultrasonographic and electrophysiologic 'inching' in ulnar neuropathy at the elbow / N.G. Simon, J.W. Ralph, A.N. Poncelet [et al.] // Clin Neurophysiol. — 2015. — Vol. 126, no. 2. — P. 391–398.

281. Simon, Perez Radial tunnel syndrome: results of surgical decompression by a postero-lateral approach / C. Simon Perez, B. García Medrano, J.I. Rodriguez Mateos [et al.] // Int Orthop. — 2014. — Vol. 38, no. 10. — P. 2129-35.

282. Sladjana, U.Z. Microanatomical structure of the human sciatic nerve / U.Z. Sladjana, J.D. Ivan, S.D. Bratislav // Surg Radiol Anat. — 2008. — Vol. 30, no. 8. — P. 619-26.

283. Somaiah, Aroori Spence Carpal Tunnel Syndrome: A Review of the Recent Literature / Aroori Somaiah, A.J. Roy // Ulster Med J. — 2008. — Vol. 77, no. 1. — P. 6-17.

284. Sreekumar, N.C. Lipoma causing Guyon’s canal syndrome: a case report and review / N.C. Sreekumar, P.L. Bhandari, L.S. Sreelesh [et al.] // Plast Aesthet Res. — 2014. — Vol. 1, no. 3. — P. 118–120.

285. Stanley, J. Radial tunnel syndrome: a surgeon's perspective / J. Stanley // J Hand Ther. — 2006. — Vol. 19, no. 2. — P. 180-4.

286. Sucher, B.M. Carpal tunnel syndrome diagnosis / B.M. Sucher, A.L. Schreiber // Phys Med Rehabil Clin N Am. — 2014. — Vol. 25, no. 2. — P. 229-47.

287. Sugimoto, T. Ultrasonographic reference sizes of the median and ulnar nerves and the cervical nerve roots in healthy Japanese adults / T. Sugimoto, K. Ochi,

N. Hosomi [et al.] // Ultrasound Med Biol. — 2013. — Vol. 39, no. 9. — P. 1560-70.

288. Suk, J.I. Ultrasonography of peripheral nerves / J.I. Suk, F.O. Walker, M.S. Cartwright // Curr Neurol Neurosci Rep. — 2013. — Vol. 13, no. 2. — P. 328.

289. Suzuki, Y. Motor nerve conduction analysis of double crush syndrome in a rabbit model / Y. Suzuki, Y. Shirai // J Orthop Sci. — 2003. — Vol. 8, no. 1. — P. 69-74.

290. Swen, W.A. Carpal tunnel sonography by the rheumatologist versus nerve conduction study by the neurologist / W.A. Swen, J.W. Jacobs, F.E. Bussemaker [et al.] // J Rheumatol. — 2001. — Vol. 28, no. 1. — P. 62-9.

291. Tagliafico, A. Reliability of side-to-side sonographic cross-sectional area measurements of upper extremity nerves in healthy volunteers / A. Tagliafico, C. Martinoli // J Ultrasound Med. — 2013. — Vol. 32, no. 3. — P. 457-62.

292. Tai, T.W. Ultrasonography for diagnosing carpal tunnel syndrome: a meta-analysis of diagnostic test accuracy / T.W. Tai, C.Y. Wu, F.C. Su [et al.] // Ultrasound Med Biol. — 2012. — Vol. 38, no. 7. — P. 1121-8.

293. Thatte, M.R. Compressive neuropathy in the upper limb / M.R. Thatte, K.A. Mansukhani // Indian J Plast Surg. — 2011. — Vol. 44, no. 2. — P. 283-97.

294. Thoirs, K. Ultrasonographic measurements of the ulnar nerve at the elbow Role of Confounders / K. Thoirs, M.A. Williams, M.J. Phillips // Ultrasound Med. — 2008. — Vol. 27, no. 5. — P. 737–743.

295. Toge, Y. Comparison of the effects of flexion and extension of the thumb and fingers on the position and cross-sectional area of the median nerve / Y. Toge, Y. Nishimura, J.R. Basford [et al.] // PLoS One. — 2013. — Vol. 8, no. 12. — P. e83565. doi: 10.1371/journal.pone.0083565. eCollection 2013.

296. Tosti, R. Acute carpal tunnel syndrome / R. Tosti, A.M. Ilyas // Orthop Clin North Am. — 2012. — Vol. 43, no. 4. — P. 459-65.

297. Trehan, S.K. Cubital tunnel syndrome: diagnosis and management / S.K. Trehan, J.R. Parziale, E. Akelman // . — 2012. — Vol. 95, no. 11. — P. 349-52.

298. Tsai, W.C. Differentiation between schwannomas and neurofibromas in the extremities and superficial body: the role of high-resolution and color Doppler ultrasonography / W.C. Tsai, H.J. Chiou, Y.H. Chou [et al.] // Med Health R I. — 2008. — Vol. 27, no. 2. — P. 161-6; quiz 168-9.

299. Ulaşli, A.M. Reasons for using swelling ratio in sonographic diagnosis of carpal tunnel syndrome and a reliable method for its calculation / Ulaşli A.M., M. Duymuş, B. Nacir [et al.] // Muscle Nerve. — 2013. — Vol. 47, no. 3. — P. 396-402.

300. Upton, A.R. The double crush in nerve entrapment syndromes / A.R. Upton, A.J. McComas // Lancet. — 1973. — Vol. 2, no. 7825. — P. 359-62.

301. Uscetin, I. Ulnar nerve compression at the elbow caused by the epitrochleoanconeus muscle: a case report and surgical approach / I. Uscetin, D. Bingol, O. Ozkaya [et al.] // Turk Neurosurg. — 2014. — Vol. 24, no. 2. — P. 266-71.

302. Uzel, A.P. Variation of the proximal insertion of the abductor digiti minimi muscle: correlation with Guyon's canal syndrome? Case report and literature review / A.P. Uzel, A. Bulla, M.L. Joye [et al.] // Morphologie. — 2012. — Vol. 96, no. 313. — P. 44-50.

303. Veen, K.E. Ultrasonography and electrodiagnostic studies in ulnar neuropathy: an examination of the sensitivity and specificity and the correlations between both diagnostic tools / K.E. Veen, M. Wesstein, V. van Kasteel // Clin Neurophysiol. — 2014. — Vol. 32, no. 3. — P. 240-3. doi: 10.1097/WNP.0000000000000148.

304. Venouziou, A.I. Radial nerve palsy associated with humeral shaft fracture. Is the energy of trauma a prognostic factor? / A.I. Venouziou, Z.H. Dailiana, S.E. Varitimidis [et al.] // Injury. — 2011. — Vol. 42, no. 11. — P. 1289-93.

305. Visser, L.H. High-resolution sonography versus EMG in the diagnosis of carpal tunnel syndrome / Visser L.H., Smidt M.H., Lee M.L. // J Neurol Neurosurg Psychiatry. — 2008. — Vol. 79, no. 1. — P. 63-7.

306. Volpe, A. Ultrasound evaluation of ulnar neuropathy at the elbow: correlation with electrophysiological studies / A. Volpe, G. Rossato, M. Bottanelli [et al.] // Rheumatology (Oxford). — 2009. — Vol. 48, no. 9. — P. 1098-1101.

307. Waitzenegger, T. Posterior interosseous nerve entrapment syndrome following distal rupture of the biceps tendon: physiopathology and literature review, an unreported case report / T. Waitzenegger, M. Chammas, C. Lazerges [et al.] // Chir Main. — 2013. — Vol. 32, no. 1. — P. 44-7.

308. Wang, B. Ulnar nerve deep branch compression by a ganglion: a review of nine cases / B. Wang, Y. Zhao, A. Lu [et al.] // Injury. — 2014. — Vol. 45, no. 7. — P. 1126-30.

309. Wang, L.Y. Best diagnostic criterion in high-resolution ultrasonography for carpal tunnel syndrome / L.Y. Wang, C.P. Leong, Y.C. Huang [et al.] // Chang Gung Med J. — 2008. — Vol. 31, no. 5. — P. 469-76.

310. Wang, X. Secondary radial nerve palsy after internal fixation of humeral shaft fractures / X. Wang, P. Zhang, Y. Zhou [et al.] // Eur J Orthop Surg Traumatol. — 2014. — Vol. 24, no. 3. — P. 331-3.

311. Werner, R.A. Ulnar neuropathy among active workers based upon hand diagram ratings / R.A. Werner, A. Franzblau, B. Evanoff [et al.] // PM R. — 2015. — no. 16. — P. pii: S1934-1482(15)00013-1. doi: 10.1016/j.pmrj.2014.12.014.

312. Wiesler, E.R. The use of diagnostic ultrasound in carpal tunnel syndrome / E.R. Wiesler, G.D. Chloros, M.S. Cartwright [et al.] // J Hand Surg Am. — 2006. — Vol. 31, no. 5. — P. 726-32.

313. Wong, S.M. Carpal tunnel syndrome: diagnostic usefulness of sonography / S.M. Wong, J.F. Griffith, A.C. Hui [et al.] // Radiology. — 2004. — Vol. 232, no. 1. — P. 93–99.

314. Wong, S.M. Discriminatory sonographic criteria for the diagnosis of carpal tunnel syndrome / S.M. Wong, J.F. Griffith, A.C. Hui [et al.] // Arthritis Rheum. — 2002. — Vol. 46, no. 7. — P. 1914-21.
315. Xing, S.G. Entrapment neuropathy of the wrist, forearm, and elbow / S.G. Xing, J.B. Tang // Clin Plast Surg. — 2014. — Vol. 41, no. 3. — P. 561-88.
316. Yalcin, E. Ulnar tunnel syndrome with ultrasonographic nerve imaging / E. Yalcin, M. Akyuz, E. Unlu // Pain Physician. — 2015. — Vol. 18, no. 3. — P. e437-8.
317. Yalcin, E. Ulnar nerve measurements in healthy individuals to obtain reference values / E. Yalcin, B. Onder, M. Akyuz // Rheumatol Int. — 2013. — Vol. 33, no. 5. — P. 1143-7.
318. Yamaguchi, T. Relative longitudinal motion of the finger flexors, subsynovial connective tissue, and median nerve before and after carpal tunnel release in a human cadaver model / T. Yamaguchi, N. Osamura, C. Zhao [et al.] // J Hand Surg Am. — 2008. — Vol. 33, no. 6. — P. 888-92.
319. Yang, S.N. Movement of the ulnar nerve at the elbow: a sonographic study / S.N. Yang, J.S. Yoon, S.J. Kim [et al.] // J Ultrasound Med. — 2013. — Vol. 32, no. 10. — P. 1747-52.
320. Yasen, S. Acute calcific tendinitis of the flexor carpi ulnaris causing acute compressive neuropathy of the ulnar nerve: a case report / S. Yasen // J Orthop Surg (Hong Kong). — 2012. — Vol. 20, no. 3. — P. 414-6.
321. Yesildag, A. The role of ultrasonographic measurements of the median nerve in the diagnosis of carpal tunnel syndrome / A. Yesildag, S. Kutluhan, N. Sengul [et al.] // Clin Radiol. — 2004. — Vol. 59, no. 10. — P. 910-5.
322. Yoon, J.S. Ultrasonographic swelling ratio in the diagnosis of ulnar neuropathy at the elbow / J.S. Yoon,F.O. Walker, M.S. Cartwright // Muscle Nerve. — 2008. — Vol. 38, no. 4. — P. 1231-5.
323. Yoshii, Y. Ultrasound assessment of the displacement and deformation of the median nerve in the human carpal tunnel with active finger motion / Y.

Yoshii, H.R. Villarraga, J. Henderson [et al.] // J Bone Joint Surg Am. — 2009. — Vol. 91, no. 12. — P. 2922-30.

324. Yucel, H. Factors affecting symptoms and functionality of patients with carpal tunnel syndrome: a retrospective study / H. Yucel // J Phys Ther Sci. — 2015. — Vol. 27, no. 4. — P. 1097-101.
325. Zaidman, C.M. Detection of peripheral nerve pathology: comparison of ultrasound and MRI / C.M. Zaidman, M.J. Seelig, J.C. Baker [et al.] // Neurology. — 2013. — Vol. 80, no. 18. — P. 1634–1640.
326. Zhong, W. Comparative study of different surgical transposition methods for ulnar nerve entrapment at the elbow / W. Zhong, W. Zhang, X. Zheng [et al.] // J Int Med Res. — 2011. — Vol. 39, no. 5. — P. 1766-72.
327. Zhu, J. Preliminary study of the types of traumatic peripheral nerve injuries by ultrasound / J. Zhu, F. Liu, D. Li [et al.] // Eur Radiol. — 2010. — Vol. 21, no. 5. — P. 1097-101. doi: 10.1007/s00330-010-1992-3. Epub 2010 Oct 24.
328. Zhu, J. Ultrasound as the first choice for peripheral nerve imaging? / J. Zhu, L. Padua, L.D. Hobson-Webb // Neurology. — 2013. — Vol. 81, no. 18. — P. 1644.
329. Ziswiler, H.R. Diagnostic value of sonography in patients with suspected carpal tunnel syndrome: a prospective study / H.R. Ziswiler, S. Reichenbach, E. Vögelin [et al.] // Arthritis Rheum. — 2005. — Vol. 52, no. 11. — P. 304-11.