

На правах рукописи



Малецкий Эдуард Юрьевич

**ВОЗМОЖНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ
ДИАГНОСТИКЕ ТУННЕЛЬНЫХ НЕВРОПАТИЙ ВЕРХНЕЙ
КОНЕЧНОСТИ**

14.01.13 – лучевая диагностика, лучевая терапия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Санкт – Петербург

2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Северо-Западном государственном медицинском университете имени И.И. Мечникова" Министерства здравоохранения Российской Федерации

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

доктор медицинских наук **Ицкович Ирина Эммануиловна**

НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ:

доктор медицинских наук, профессор **Лобзин Сергей Владимирович**

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита диссертации состоится " ____ " _____ 2017 года на заседании диссертационного совета Д 208.116.01 в ФГБУ "Российский научный центр радиологии и хирургических технологий" Министерства Здравоохранения Российской Федерации по адресу:
197758, г. Санкт-Петербург, п. Песочный, ул. Ленинградская, д. 70.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ "Российский научный центр радиологии и хирургических технологий" Министерства Здравоохранения Российской Федерации
и на сайте <http://rccrst.ru/dissertacionnyie-issledovaniya/>

Автореферат разослан " ____ " _____ 2017 года

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор медицинских наук, профессор

Мус Виктор Федорович

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.

Заболевания периферической нервной системы (ПНС) являются одной из наиболее частых причин обращения пациентов к неврологам (Kerasnoudis A. et al., 2013). На долю заболеваний и травм ПНС приходится до 76% случаев временной нетрудоспособности в амбулаторно-поликлинических учреждениях и до 55,5% - в стационарах (Салтыкова В.Г., 2011; Горшков Р.П. и др., 2010; Широков В.А. и др., 2011). Известно, что доля ТН в структуре всех заболеваний периферической нервной системы достигает 30-40% (Попелянский Я.Ю., 2005; Мельцер Р.И. и др., 2002; Широков В.А. и др., 2011). При этом до 86% случаев приходится на ТН верхних конечностей (Скоромец А.А. и др., 2013; Мельцер Р.И. и др., 2002).

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 (Ibrahim I. et al., 2012; Ghasemi-Rad M. et al., 2014; Padua L. et al., 2008).

Однако клинико-электрофизиологическое исследование (КЭФИ) не предоставляет информации о морфологических изменениях нервного ствола и окружающих его анатомических структур (Martinoli C. et al., 2000; Padua L. et al., 2013). 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 (Pais R. et al., 2009; Duckworth A.D. et al., 2014; Dang A.C. et al., 2009; Stanley J. et al., 2006). Применение методов лучевой визуализации с высоким уровнем дифференцировки мягких тканей позволяет изучить морфологию патологического процесса, оценить степень поражения нервного ствола, выявить причины его сдавления (Мументалер М. и др., 2013; Martinoli C. et al., 2000; Padua L. et al., 2013). 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. В ряде фундаментальных исследований подтверждена принципиальная возможность УЗ-визуализации (Fornage B.D., 1988; Peer S. et al., 2002), сформирован надежный УЗ-паттерн (Graif M. et al., 1991; Silvestri E. et al., 1995), описана УЗ-топографическая анатомия (Peer S. et al., 2002; Moayeri N. et al., 2010), проведена оценка точности УЗ-измерений различных периферических нервов (Silvestri E. et al., 1995; Buchberger W. et al., 1992). Описана УЗ-семиотика наиболее часто встречающихся ТН (Martinoli C. et al., 2000; Bianchi S., 2008; Peer S. et al., 2008).

Однако большинство работ по сопоставлению результатов измерений нерва методами прямой и ультразвуковой визуализации проводили или *in vitro* (Graif M. et al., 1991; Silvestri E. et al., 1995), или на трупах (Fornage B.D., 1988; Peer S. et al., 2002). В единичных на сегодняшний день исследованиях *in vivo* основное внимание уделяется оценке точности УЗ-измерений продольных размеров нерва (Салтыкова В.Г. и др., 2012; Чуловская И.Г. и др., 2007). 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 карпальному и кубитальному туннельным синдромам. Однако в большинстве этих исследований описаны локальные изменения нервного ствола в области компрессии, и нет данных о его состоянии в удаленных сегментах. 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 (Peer S. et al., 2008; Yoshii Y. et al., 2009, Bianchi S., 2008; Kele H., 2012; Bouche P., 2013). Нет единого мнения о том, как изменяются поперечные размеры нерва в зоне максимального сжатия (Ibrahim I. et al., 2012), описаны как уменьшение (Bianchi S., 2008; Салтыкова В.Г., 2009, 2011, 2012; Moghtaderi A. et al., 2012), так и увеличение толщины или площади поперечного сечения (ППС) ствола на этом уровне (Блют Э.И. и др., 2011; Simon N.G. et al., 2015; Zhong W. et al., 2011). Таким образом, представленные в литературе данные по УЗ-семиотике ТН и характере утолщения нерва требуют уточнения.

Нет единого мнения об уровне корреляционной взаимосвязи между ППС нерва и степенью его поражения при ТН. В литературе встречаются указания как на высокий уровень корреляции (Simon N.G. et al., 2015; Thoires K. et al., 2008; Volpe A. et al., 2009; Padua L. et al., 2008), так и на ее отсутствие (van Veen K.E. et al., 2014; Ghasemi-Rad M. et al., 2014; Mondelli M. et al., 2008).

В доступных исследованиях наблюдаются разночтения в оценке диагностической эффективности УЗИ при ТН, а пороговые значения ППС нерва определяются в большом диапазоне (Mondelli M. et al., 2008; Kang S. et al., 2012; Roll S.C. et al., 2011; McDonagh C. et al., 2015). Кроме того, стандарты методики измерения ППС окончательно не определены. Представленные в литературе данные о возможностях УЗИ при диагностике редких ТН, прежде всего, синдрома канала Гюйона и синдрома канала супинатора, крайне немногочисленны. 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 (Bianchi S., 2008; Yucel H., 2015; Seror P., 2008; Kele H., 2012). При этом роль опухоли в развитии невропатии может быть определена при анализе ее взаимоотношения со стволом нерва (Peer S. et al., 2002; Fornage B.D., 1988, Bianchi S., 2008). Однако в доступной литературе практически отсутствуют работы, подтверждающие возможности УЗИ в 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 эпинеурия (Zaidman C.M. et al., 2013; Padua L. et al., 2013; Campbell W.W. et al., 2008; Берснев В.П. и др., 2009). Однако лишь небольшое число работ посвящено оценке возможностей УЗИ для диагностики полного анатомического перерыва нерва (Cartwright M.S. et al., 2007; Салтыкова В.Г. и др., 2012; Чуловская И.Г. и др., 2007).

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 работы

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 ретинакулула 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.

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 опубликовано 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.

Материалы и методы исследования

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. Всем пациентам выполнили УЗИ на сканере «LOGIQ E9» (GE) линейным датчиком с частотой сканирования 9-15 МГц.

На первом этапе работы для оценки возможностей эхографии при исследовании периферических нервов сформировали три группы пациентов: 1) оценка точности УЗ-измерений поперечных размеров нерва – 66 пациентов в возрасте от 10 до 85 лет (средний $47,8 \pm 1,8$); 2) УЗ-оценка взаимоотношения

объемного образования со стволом нерва – 40 пациентов в возрасте от 10 до 70 лет (средний $46,5 \pm 1,84$); 3) УЗ-оценка целостности нерва – 44 пациента в возрасте от 12 до 73 лет (средний $35,5 \pm 1,67$)

Для оценки точности УЗ-измерений поперечных размеров нерва сопоставили результаты, полученные *in vivo* методами прямой и ультразвуковой визуализации. При УЗИ оценивали максимальный диаметр поперечного сечения нерва в месте наиболее выраженного утолщения. Полученные данные верифицировали по результатам интраоперационного измерения, выполненного при непосредственной визуализации нерва в ране с помощью стерильных линейки и штангенциркуля.

При сопоставлении результатов УЗ- и МР-измерений оценивали максимальный и минимальный диаметры поперечного сечения нерва. Для получения УЗ-срезов нерва, точно повторяющих срезы при МРТ, уровень сканирования предварительно регламентировали, определяя его по стандартным костным ориентирам.

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

Для определения возможностей УЗИ в оценке взаимоотношения объемного образования со стволом нерва обследовали группу пациентов с предварительно выявленными объемными образованиями конечностей. При УЗИ измеряли расстояние от образования до нерва, разделяя наблюдения на группы: 1) интраневральное образование; 2) образование тесно прилежит к нерву; 3) удаленность до 10 мм; 4) удаленность более 10 мм. 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. При УЗИ оценивали непрерывность нервного ствола. По результатам УЗИ обследуемых

разделили на группы: 1) полный разрыв ствола нерва, 2) целостность нерва сохранена, 3) визуализация затруднена. Полученные данные подтверждали с помощью МРТ, верифицировали интраоперационно. При восстановлении функции целостность нервного ствола подтверждали данными КЭФИ.

На втором этапе работы для УЗ-оценки изменений ППС нервов верхней конечности при ТН сформировали 5 групп пациентов:

1) сдавление срединного нерва в канале запястья (ТН1) – 201 срединный нерв у 122 пациентов в возрасте от 26 до 70 лет (средний $53,9 \pm 0,6$). В качестве контроля – 135 срединных нервов у 84 здоровых человек в возрасте от 36 до 76 лет (средний $53,4 \pm 0,9$);

2) сдавление локтевого нерва на любом из уровней в пределах области локтя (ТН2) – 110 локтевых нервов у 88 пациентов в возрасте от 20 до 74 лет (средний $51,2 \pm 1,2$). В качестве контроля – 141 локтевой нерв у 91 здорового человека в возрасте от 24 до 77 лет (средний $49,4 \pm 1,2$);

3) сдавление лучевого нерва в области плеча (ТН3) – 35 лучевых нервов у пациентов в возрасте от 18 до 76 лет (средний $39,2 \pm 2,8$). В качестве контроля использовали асимптоматичный контрлатеральный нерв;

4) сдавление глубокой ветви лучевого нерва (ТН4) – 25 глубоких ветвей лучевого нерва у пациентов в возрасте от 21 до 72 лет (средний $25,0 \pm 2,8$). В качестве контроля использовали асимптоматичный контрлатеральный нерв;

5) сдавление локтевого нерва в канале Гюйона (ТН5) – 31 локтевой нерв у 28 пациентов в возрасте от 20 до 78 лет (средний $54,9 \pm 3,1$). В качестве контроля – 28 локтевых нервов у 25 здоровых человек в возрасте от 20 до 73 лет (средний $55,6 \pm 2,9$).

Критерии отбора пациентов в основную группу включали наличие признаков поражения нерва в туннеле по данным КЭФИ. Критерии отбора пациентов в контрольную группу были едиными для всех ТН и включали отсутствие признаков поражения нерва по данным клинического, анамнестического и электрофизиологического исследований. Пациентов исключали из исследования при наличии в анамнезе: 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. Оператор УЗИ не был осведомлен о результатах ЭФИ. Средний временной диапазон между ультразвуковым и электрофизиологическим исследованиями составил $8,9 \pm 0,3$ дней.

Измерение ППС проводили в предварительно регламентированных сегментах нерва, используя для разделения стандартные анатомические ориентиры. Таким образом, в каждом нерве по отношению к исследуемому туннелю выделили до 5 стандартных сегментов: S1 - дистальный отдел нерва, S2 - выход из туннеля, S3 - туннель, S4 - вход в туннель, S5 - проксимальные отделы нерва. Сегменты S2, S3 и S4 описывали как «область туннеля». Сегменты S1, S5 – как «удаленные сегменты». Для сопоставления с ЭФИ использовали максимальную ППС нерва, найденную в каждом сегменте или в группе сегментов. 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.

Для TN1 рассчитывали индекс деформации нерва на уровне крючковидной кости по соотношению ширины нервного ствола к его толщине, а также оценивали степень ладонного смещения ретинакулула (*retinaculum flexorum*), измеряя расстояния от максимально удаленной точки ретинакулула до касательной линии к местам его костного крепления.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты оценки точности ультразвуковых измерений периферических нервов

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 и ранговой корреляции достигли +0,99.

Таким образом, при УЗИ возможно точное измерение периферических нервов, что является принципиально важным для всех последующих разделов данной работы. Поперечный размер нерва, определяемый 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.

Результаты ультразвуковой оценки изменения поперечных размеров нервов верхней конечности при ТН

Особенности изменения ППС при оценке нерва на всем протяжении

Оценив изменения нервов верхней конечности при ТН, мы пришли к выводу, что основным морфологическим проявлением заболевания является фокальное увеличение ППС нервного ствола за счет сегментов, близких к зоне компрессии (S2-выход, S3-туннель, S4-вход). Изменение ППС сегментов удаленных от туннеля (S1, S5, S6) было незначительным. 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 (Hobson-Webb L.D. et al., 2008; Kerasnoudis A. et al., 2013; Padua L. et al., 2014).

Особенности изменения сегментов нерва в области туннеля

При ТН1 и ТН2 увеличение ППС сегментов нерва в области туннеля (S2-выход, S3-туннель, S4-вход) происходило неравномерно (рис. 1). Это позволяет сформулировать общие закономерности: 1) с увеличением степени поражения нерва может расти ППС любого из трех сегментов области туннеля (S2,S3,S4), 2) увеличение ППС 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 ($S2, S4 > S3$). Данные признаки встречаются у большинства пациентов. Так при ТН1 и ТН2 доля наблюдений, при которых увеличение ППС 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 ($S2, S4 > S3$) в 62-97% случаев.

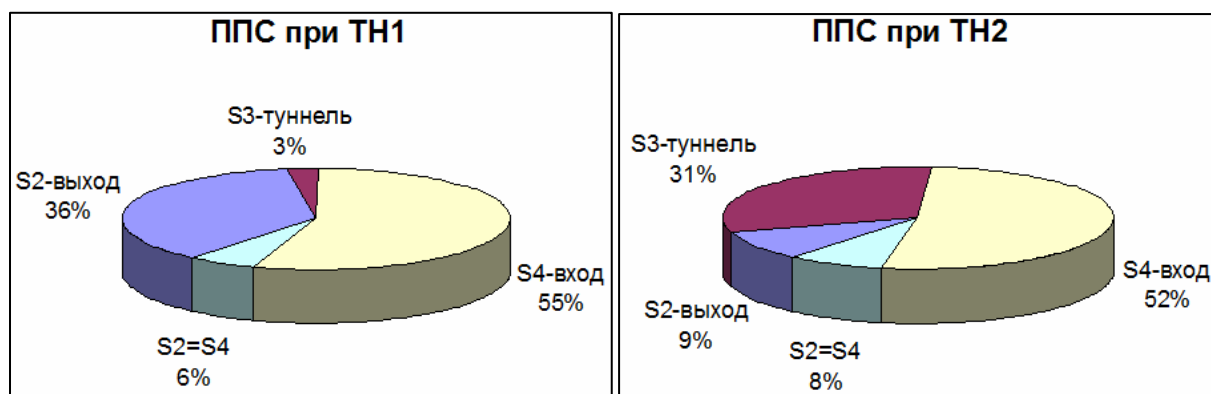


Рис. 1. Локализация максимальной ППС в области туннеля при карпальном (ТН1) и кубитальном (ТН2) туннельных синдромах.

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

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 нашей работе мы исходили из того, что ППС сегмента в туннеле (S3) 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.

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 рост этого показателя свидетельствует о том, что весь нервный ствол реагирует на локальное сдавление. Это косвенно подтверждает гипотезу двойного сдавления (double crush syndrome) (1973; Suzuki Y. et al., 2003; Huang Y.G. et al., 2014), 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.V. Lämmer (2015). 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 (Suzuki Y. et al., 2003). 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.

Таким образом, у пациентов с клинко-электрофизиологическими признаками ТН верхней конечности при УЗИ определяется фокальное увеличение ППС пораженного нерва за счет сегментов, близких к зоне компрессии. На разных сроках невропатии может происходить увеличение ППС любого из трех сегментов нерва в области туннеля (S2, S3, S4).

Корреляционная взаимосвязь между ППС и скоростью распространения возбуждения в сегментах срединного и локтевого нервов

При сопоставлении ППС срединного нерва со скоростью сенсорного проведения и ППС локтевого нерва со скоростью моторного проведения получили достоверные ($p < 0,0001$) коэффициенты линейной корреляции - 0,72 и -0,74 соответственно. Как следует из представленных данных, скорость проведения по сенсорным и моторным волокнам снижается при увеличении ППС нерва (рис. 2).

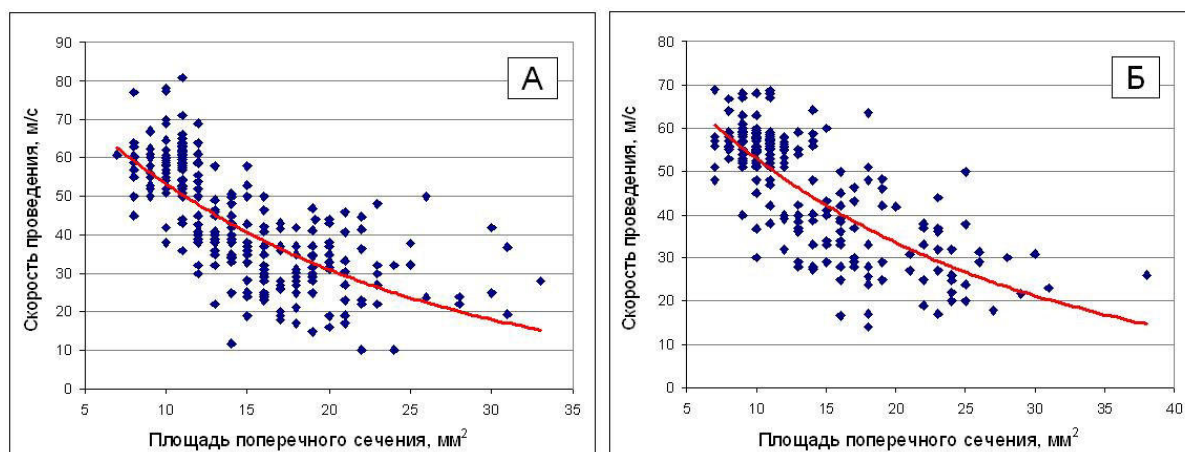


Рис. 2. (А) Корреляция между ППС срединного нерва и скоростью сенсорного проведения ($r = -0,72$); (Б) Корреляция между ППС локтевого нерва и скоростью моторного проведения ($r = -0,74$).

Взаимосвязь между ППС и степенью поражения нерва при ТН

При статистической обработке данных для всех ТН получили достоверные различия величины ППС, а также индексов утолщения нерва между основной и контрольной группами. При ТН1 и ТН2 величина ППС нерва достоверно ($p < 0,05$) растет при увеличении степени тяжести

невропатии (рис. 3). У пациентов с ТН2 при аксональном типе поражения ППС нерва достоверно больше, чем при демиелинизирующем.

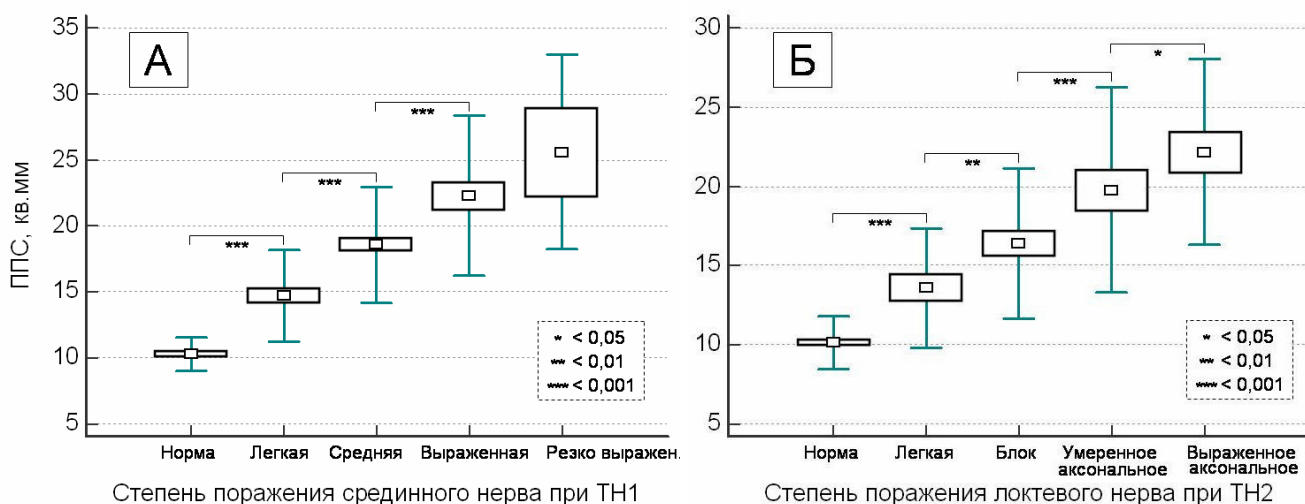


Рис. 3. ППС срединного нерва в области запястья при ТН1 (А) и локтевого нерва в кубитальной области при ТН2 (Б) в зависимости от степени поражения.

Таким образом, признак фокального утолщения нерва, проявляющийся при УЗИ увеличением ППС, четко отражает нарастающие при ТН функциональные нарушения.

Оптимизация методики измерения ППС нерва при карпальном и кубитальном туннельных синдромах

Для оценки исходной диагностической эффективности УЗ-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 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. Это позволило повысить эффективность диагностики и получить более высокие значения AUC (СЗК – 0,974; КТС – 0,928) (рис 4).

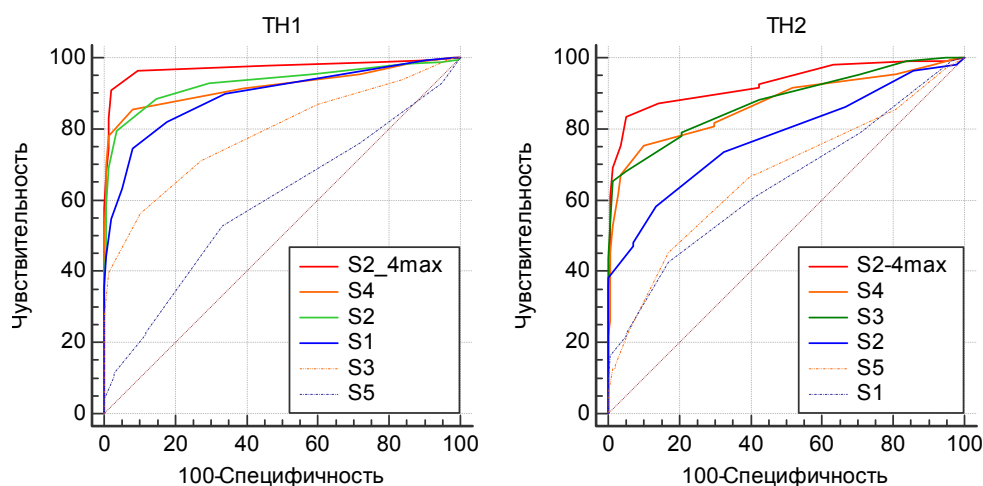


Рис. 4. Сопоставление ROC-кривых различных сегментов нерва. Наибольшая площадь под кривой при TH1 и TH2 в объединенном сегменте S2-4max.

Таким образом, оптимизация методики достигается за счет поиска максимального значения ППС на отрезке, объединяющем все сегменты нерва в области туннеля, что позволяет получить уровень диагностической эффективности более высокий, чем при оценке каждого сегмента в отдельности.

Выявление критериев диагностики ТН верхней конечности

Методом построения классификационных деревьев и с помощью ROC-анализа выявили пороговые значения ППС, индексов утолщения и деформации нерва, а также ладонного смещения ретинакулума (*retinaculum flexorum*) для разделения нормы и патологии (табл. 1).

Как следует из представленных данных, выявленные 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 TH1-4, мы определили как высокий (AUC от 0,811 до 0,928), а для TH5 - средний (AUC 0,762). Диагностическая эффективность индекса деформации срединного нерва при TH1 (AUC 0,616) относительно невысока. При сравнительном ROC-анализе показателей ладонного смещения ретинакулума карпального канала (*retinaculum flexorum*) 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).

Таблица 1

Критерии диагностики ТН верхней конечности

ТН	Параметр	ПЗ	Ч	С	Т	AUC
ТН1	ППС S2-4max, мм ²	>12	91,0	97,8	93,8	0,974
	Индекс утолщения (S2-4max/S5)	>1,7	86,6	85,2	86	0,928
	Индекс деформации (dmax/dmin)*	>3,2	50,3	71,1	58,6	0,616
	Смещение ретинакулула**, мм	>3,0	80,1	80,3	79,8	0,868
	Толщина ретинакулула, мм	>1,3	76,2	79,3	77,4	0,827
ТН2	ППС S2-4max, мм ²	>12	83,6	95,0	90,0	0,928
	Индекс утолщения (S2-4max/S1)	>1,8	73,6	83,7	79,3	0,811
	Индекс утолщения (S2-4max/S5)	>1,6	72,7	89,4	82,1	0,861
ТН3	ППС S3, мм ²	>7	88,6	97,1	92,9	0,973
	Индекс утолщения (S3/S2)	>1,25	68,6	91,4	80,0	0,858
ТН4	ППС S3m***, мм ²	>3	72,0	96,0	84,0	0,902
	Индекс утолщения (S3m/S4)	>0,5	80,0	84,0	82,0	0,848
ТН5	ППС S4, мм ²	>6	71,0	96,4	83,1	0,851
	Индекс утолщения (S4/S6)	>1	48,4	96,4	71,2	0,762

ПЗ - пороговое значение. Ч - чувствительность. С - специфичность. Т - точность. * Уплотнение нерва на уровне крючковидной кости. ** Ладонное смещение ретинакулула карпального канала (retinaculum flexorum) на уровне гороховидной кости. *** ППС глубокой (двигательной) ветви лучевого нерва.

Таким образом, пороговые значения ППС, индексов утолщения и деформации нерва, выявленные в нашем исследовании, позволяют диагностировать различные ТН верхней конечности.

Результаты оценки возможностей УЗИ при определении взаимоотношения объемного образования со стволом нерва.

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. 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%.

Таким образом, УЗИ позволяет точно оценить взаимоотношение 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.

Результаты оценки эффективности УЗИ при диагностике полного анатомического перерыва нерва

При УЗ-оценке целостности нерва полный анатомический перерыв выявили в 30 (97%) из 31 подтвержденного случая, 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%.

Таким образом, УЗИ позволяет подтвердить или исключить разрыв нерва и определить дальнейшую тактику, которая может быть выжидательной, если целостность нервного ствола сохранена, и хирургической в случае его разрыва.

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%.

Практические рекомендации

Показаниями к проведению УЗИ нервов верхних конечностей следует считать: 1) неясные ситуации, когда определение уровня поражения нерва по данным КЭФИ затруднено; 2) поиск локальных патологических процессов, в зоне сдавления нерва на установленном по данным КЭФИ уровне; 3) пальпируемые образования в проекции нервных стволов; 4) планирование

хирургической декомпрессии нерва; 5) отсутствие клинического улучшения или осложнения после хирургической декомпрессии нервов; 6) поиск ятрогенного повреждения нерва при невропатиях, возникших после хирургических вмешательств; 7) посттравматические невропатии с признаками полного аксонального поражения 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. Карпальный и кубитальный туннельные синдромы следует оценивать по максимальному значению ППС нерва, найденному на отрезке, объединяющем все сегменты в области туннеля. УЗ-оценку степени ладонного смещения ретинакулума (*retinaculum flexorum*) удобнее проводить в проксимальных отделах, что позволяет избежать технических ограничений, возникающих при измерении на дистальном уровне и повысить эффективность диагностики.

Список опубликованных работ

- 1. Александров Н.Ю. Соотношение между площадью сечения срединного нерва и степенью его поражения при невропатии на уровне запястья (синдроме запястного канала) / Н.Ю. Александров, Э.Ю. Малецкий, Ф.Р. Вильяр Флорес [и др.] // Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. – СПб., 2013. – Том. 5, № 2. – С. 19–24.**
2. Малецкий Э.Ю. Correlations between median nerve cross-sectional area, measured on different segments and degree of neuropathy in carpal tunnel syndrome [Электронный ресурс] / Э.Ю. Малецкий, Н.Ю. Александров, И.Э. Ицкович [и др.] // Европейский конгресс радиологов «ECR-2014». – Режим доступа: <http://poster.ng.netkey.at>. – DOI: 10.1594/ecr2014/C-0539

3. **Малецкий Э.Ю. Изменение площади поперечного сечения срединного нерва на различных стадиях синдрома запястного канала / Э.Ю. Малецкий, Н.Ю. Александров, И.Э. Ицкович [и др.] // Медицинская визуализация. – 2014. – № 1. – С. 102–109.**
4. Малецкий Э.Ю. Ультразвуковая анатомия и методика исследования нервов верхней конечности / Э.Ю. Малецкий // СПб.: Издательство ГБОУ ВПО СЗГМУ им. И.И.Мечникова, 2014. – 46 с.
5. **Малецкий Э.Ю. Измерение периферических нервов: сопоставление ультразвуковых, магнитно-резонансных и интраоперационных данных / Э.Ю. Малецкий, М.М. Короткевич, А.В. Бутова [и др.] // Медицинская визуализация. – 2015. – № 2. – С. 78–86.**
6. **Малецкий Э.Ю. Сопоставление данных ультразвукового и электрофизиологического исследований при невропатии локтевого нерва в области локтя / Э.Ю. Малецкий, Н.Ю. Александров, М.М. Короткевич [и др.] // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2015. – № 6. – С. 66 – 76.**
7. Вильяр Флорес, Ф.Р. The effectiveness of diagnostic methods of compressive neuropathy of the median nerve / Ф.Р. Вильяр Флорес, Э.Ю. Малецкий, В.Г. Пустозеров [и др.] // Journal of the neurological sciences. – 2015. – Vol. 357, Suppl. 1. – P. e347.
8. Малецкий, Э.Ю. Correlations between median nerve cross-sectional area, measured on different segments and degree of neuropathy in carpal tunnel syndrome [Электронный ресурс] / Э.Ю. Малецкий, И.Э. Ицкович, Н.Ю. Александров [и др.] // Европейский конгресс радиологов «ESCR-2016». – Режим доступа: <http://posterng.netkey.at>. – DOI: 10.1594/ecr2016/C-0080
9. Яковлев Е.В. Анатомо-хирургические аспекты клинического анализа в неврологии / Е.В. Яковлев, А.А. Смирнов, Э.Ю. Малецкий [и др.] // СПб.: Издательство ГБОУ ВПО СЗГМУ им. И.И.Мечникова, 2016. – 67с.