

Каскадное утолщение нервов в многоуровневых туннелях

Э.Ю. Малецкий¹, Н.Ю. Александров¹, Е.В. Розенгауз¹,
И.Э. Ицкович¹, М.М. Короткевич²

¹ ФГБОУ ВО “Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург

² Российский научно-исследовательский нейрохирургический институт имени профессора А.Л. Поленова – филиал ФГБУ “Северо-Западный федеральный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова” Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург

Цель исследования – оптимизация методики ультразвукового исследования нервов при туннельных невропатиях верхней конечности. Обследовали 201 срединный нерв у 122 пациентов в возрасте от 26 до 70 лет с клинико-электрофизиологическими признаками синдрома запястного канала и 110 локтевых нервов у 88 пациентов в возрасте от 20 до 74 лет с клинико-электрофизиологическими признаками кубитального туннельного синдрома. В качестве контроля обследовали 135 срединных нервов у 84 здоровых пациентов в возрасте от 25 до 70 лет и 141 локтевой нерв у 91 здорового пациента в возрасте от 24 до 77 лет. Площадь поперечного сечения нерва

измеряли с помощью ультразвукового исследования в предварительно регламентированных сегментах: S1 – дистальный отдел нерва, S2 – выход из туннеля, S3 – туннель, S4 – вход в туннель, S5 – проксимальный отдел нерва. Специалист, проводящий ультразвуковое исследование, не был осведомлен о результатах электронейромиографии. Значения AUC сегментов в области туннеля (синдром запястного канала – от 0,787 до 0,930; кубитальный туннельный синдром – от 0,776 до 0,869) значительно превысили аналогичный показатель удаленных сегментов (синдром запястного канала – до 0,591; кубитальный туннельный синдром – до 0,666).

Э.Ю. Малецкий – ассистент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО “Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург. Н.Ю. Александров – к.м.н., доцент кафедры функциональной диагностики ФГБОУ ВО “Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург. Е.В. Розенгауз – д.м.н., профессор, профессор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО “Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова”. И.Э. Ицкович – д.м.н., профессор, заведующая кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО “Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург. М.М. Короткевич – нейрохирург нейрохирургического отделения №1 (отделение реконструктивно-восстановительной и функциональной хирургии заболеваний и поврежденных центральной и периферической нервной системы) Российского научно-исследовательского нейрохирургического института имени профессора А.Л. Поленова – филиала ФГБУ “Северо-Западный федеральный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова” Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург.

Контактная информация: 191015 г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41, СЗГМУ им. И.И. Мечникова, кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии. Малецкий Эдуард Юрьевич. Тел.: +7 (812) 303-50-82. E-mail: edikm@yandex.ru

После объединения наиболее чувствительных сегментов в один сегмент S2–4max получили более высокие значения AUC, используя в качестве показателя максимальное значение площади поперечного сечения нерва, найденное на объединенном отрезке. Методика ультразвуковой диагностики карпального и кубитального туннельных синдромов может быть оптимизирована за счет поиска максимального значения площади поперечного сечения на отрезке, объединяющем все сегменты нерва в области туннеля (S2–4max), что позволяет получить более высокий уровень диагностической эффективности, чем при оценке каждого сегмента в отдельности. Выявленные пороговые значения максимальной площади поперечного сечения нервов в области туннеля можно использовать для диагностики синдрома запястного канала (норма – $\leq 12 \text{ мм}^2$, патология – $> 12 \text{ мм}^2$ (чувствительность – 91,0%, специфичность – 97,8%, точность – 93,8%, AUC – 0,974)) и кубитального туннельного синдрома (норма – $\leq 12 \text{ мм}^2$, патология – $> 12 \text{ мм}^2$ (чувствительность – 83,6%, специфичность – 95,0%, точность – 90,0%, AUC – 0,928)).

Ключевые слова: ультразвуковое исследование периферических нервов, синдром запястного канала, невропатия срединного нерва, кубитальный туннельный синдром, невропатия локтевого нерва, площадь поперечного сечения.

ВВЕДЕНИЕ

Под компрессионно-ишемическими невропатиями понимают гетерогенную группу заболеваний, возникающих на фоне острой или хронической травматизации нервов в анатомически уязвимых местах. Туннельные невропатии (ТН) – это вариант компрессионно-ишемических невропатий, отличительным признаком которого является стойкое сдавление нерва в узком и жестком анатомическом туннеле (ловушке) в условиях нарастающего конфликта между уменьшающимся объемом туннеля и (или) увеличивающимся размером нервного ствола. ТН верхней конечности представ-

ляют собой важную социально-экономическую проблему, устойчиво сохраняя позиции в статистике потерь трудоспособности населения [1, 2].

Синдром запястного канала – наиболее часто встречающаяся ТН с уровнем заболеваемости до 280 случаев на 100 тыс. населения [3, 4] и распространенностью в популяции до 3–5% [5, 6]. Доля синдрома запястного канала в структуре других ТН достигает 90% [5]. По данным Американской академии неврологии (*American Academy of Neurology*), риск возникновения данной ТН в течение жизни составляет 10% [7] и может достигать 15% у работающих в неблагоприятных условиях труда [8].

Второе место по частоте встречаемости занимает кубитальный туннельный синдром с уровнем заболеваемости в пределах 25–44 случаев на 100 тыс. населения [8, 9] и распространенностью среди активно работающих до 3,6% [3]. Доля заболевания в структуре других ТН достигает 20% [10].

Диагноз “ТН” устанавливается на основании данных анамнеза, клинической картины и результатов электрофизиологического исследования, с помощью которого в большинстве случаев возможно достоверно локализовать уровень поражения и определить степень нарушения функции нерва [6, 10, 11]. Однако клинко-электрофизиологическое обследование не предоставляет информации о морфологических изменениях нервного ствола и окружающих его анатомических структур [12, 13]. Понимание только функционального аспекта поражения ограничивает врачебную тактику [9, 14]. По данным литературы, клинко-электрофизиологическое обследование 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 клинко-электрофизиологические проявления ТН [4, 5, 15, 16];

2) атрофия индикаторных мышц, когда получение прямой информации о моторном проведении при электронейромиографии (ЭНМГ) невозможно или ограничено [17, 18];

3) многоуровневое поражение нерва [9, 19];

4) отсутствие доступных для дифференцированного анализа ветвей на участке нерва с несколькими точками потенциального сдавления [10, 12, 20];

5) невозможность дифференциальной диагностики нейротомезиса и полного аксономезиса при посттравматических невропатиях [19, 21–23];

6) невозможность выявления причин сдавления нерва в туннеле и оценки потенциальной чувствительности локальных патологических процессов к терапевтическому воздействию [24];

7) отсутствие оценки взаимоотношения объемного образования и ствола нерва [25];

8) невозможность оценки анатомических особенностей туннеля, выявления аномалий нерва, его ветвей и окружающих сосудов при планировании хирургических декомпрессий с ограниченным визуальным контролем [4, 6, 9–11];

9) невозможность определения причин неэффективности хирургических декомпрессий и выявления ятрогенных осложнений [15].

Применение методов лучевой визуализации с высоким уровнем дифференцировки мягких тканей позволяет изучить морфологию патологического процесса, оценить степень поражения нервного ствола и выявить причины его сдавления [12, 13]. При этом возможности магнитно-резонансной томографии оказываются сильно ограниченными в связи с большой протяженностью периферического нерва. В последние годы для визуализации нервов все чаще применяется ультразвуковое исследование.

Наиболее ценным ультразвуковым признаком ТН считается изменение площади поперечного сечения ущемленного нерва. Тем не менее в публикациях наблюдается большое расхождение пороговых значений данного показателя и уровня его диагностической эффективности. Так, при анализе различных работ по ультразвуковой диагностике синдрома запястного канала выявлено, что пороговое значение площади поперечного сечения нерва варьировало в диапазоне от 7 до 15 мм² [6, 16, 26], кубитального туннельного синдрома – от 7,5 до 10,0 мм² [20, 27]. Причиной значительных расхождений может являться отсутствие стандартной методики измерения нервов. Большинство авторов рекомендуют прово-

дить оценку площади поперечного сечения нервов на уровне, привязанном к определенному анатомическому ориентиру. Однако в различных исследованиях нет единства в выборе ориентира в пределах одного туннеля. Так, для диагностики синдрома запястного канала предлагаются варианты измерения срединного нерва на уровнях: лучезапястного сустава [11], гороховидной [28] или крючковидной [26, 29] костей, на выходе из карпального канала [29]. Уровни оценки локтевого нерва, рекомендуемые для диагностики кубитального туннельного синдрома, также различны: проксимальнее медиального надмыщелка плечевой кости [30, 31], на уровне надмыщелково-локтевого желоба [30, 32], между головками локтевого сгибателя запястья [20, 30–32]. Необходимость решения этой проблемы определяет актуальность нашего исследования.

Цель исследования – оптимизация методики ультразвукового исследования нервов при ТН верхней конечности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследовали 201 срединный нерв у 122 пациентов в возрасте от 26 до 70 лет (средний возраст – $53,9 \pm 0,6$ года (здесь и далее $M \pm m$)) с клинико-электрофизиологическими признаками синдрома запястного канала и 110 локтевых нервов у 88 пациентов в возрасте от 20 до 74 лет (средний возраст – $51,2 \pm 1,2$ года) с клинико-электрофизиологическими признаками кубитального туннельного синдрома.

В качестве контроля обследовали 135 срединных нервов у 84 здоровых пациентов в возрасте от 25 до 70 лет (средний возраст – $53,4 \pm 0,9$ года) и 141 локтевой нерв у 91 здорового пациента в возрасте от 24 до 77 лет (средний возраст – $49,4 \pm 1,2$ года).

Критерии отбора пациентов в основную группу включали наличие признаков поражения нерва в туннеле по данным клинического и электрофизиологического исследований (табл. 1). 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.

Таблица 1. Клинико-электрофизиологические критерии ТН

Поражение нерва	Критерии
<i>Синдром запястного канала (сдавление срединного нерва в канале запястья) (n = 201)</i>	
Легкое (n = 49)	Чувствительные нарушения в зоне иннервации <i>n. medianus</i> СРВ сенсорная в сегменте запястного канала <50 м/с
Среднее (n = 109)	Латентность М-ответа >4,2 мс
Выраженное (n = 38)	Выпадение сенсорного ответа
Резко выраженное (n = 5)	Выпадение М-ответа
<i>Кубитальный туннельный синдром (сдавление локтевого нерва в кубитальной области) (n = 110)</i>	
Легкое (n = 23)	Чувствительные нарушения в зоне иннервации <i>n. ulnaris</i> СРВ сенсорная <50 м/с и (или) СРВ моторная <51 м/с
Нейропраксия (n = 37)	Блок проведения на уровне туннеля
Умеренное аксональное (n = 27)	Амплитуда М-ответа при стимуляции дистальнее туннеля <4 мВ
Выраженное аксональное (n = 23)	Амплитуда М-ответа при стимуляции дистальнее туннеля <1 мВ

Примечание: СРВ – скорость распространения возбуждения. Блок проведения – амплитуда М-ответа при стимуляции проксимальнее туннеля снижена более чем на 20% в сравнении с нормальными показателями дистально.

Таблица 2. Исходные характеристики групп исследования при оценке площади поперечного сечения нервов

Параметр	Основная группа	Контрольная группа
<i>Синдром запястного канала (сдавление срединного нерва в канале запястья)</i>		
Наблюдений (пациентов)	201 (122)	135 (84)
Пол (мужской / женский)	45 (22,4%) / 156 (77,6%)	30 (22,2%) / 105 (77,8%)
Возраст, лет	53,9 ± 0,6 26,0–70,0	53,4 ± 0,9 25,0–70,0
Вес, кг	79,3 ± 1,0 42–117	76,7 ± 1,2 25,0–70,0
Рост, см	165,8 ± 0,6 149,0–194,0	166,2 ± 0,8 25,0–70,0
ИМТ, кг/м ²	28,8 ± 0,3 15,6–41,3	27,8 ± 0,4 25,0–70,0
<i>Кубитальный туннельный синдром (сдавление локтевого нерва в кубитальной области)</i>		
Наблюдений (пациентов)	110 (88)	141 (91)
Пол (мужской / женский)	73 (66,4%) / 37 (33,6%)	91 (64,5%) / 50 (35,5%)
Возраст, лет	51,2 ± 1,2 20,0–74,0	49,4 ± 1,2 24,0–77,0
Вес, кг	82,3 ± 1,6 42,0–123,0	79,4 ± 1,1 55,0–114
Рост, см	172,5 ± 0,9 150,0–196,0	173,0 ± 0,7 150,0–195,0
ИМТ, кг/м ²	27,6 ± 0,4 15,5–39,5	26,6 ± 0,4 18,4–39,3

Примечание: количественные данные представлены в виде М ± m (первая строка ячейки), минимального – максимального значений (вторая строка ячейки). При сопоставлении групп по полу, возрасту, весу, росту, индексу массы тела достоверные различия не определяются (для всех сравнений P > 0,05).

Критерии отбора пациентов в контрольную группу включали отсутствие признаков поражения нерва в исследуемом туннеле по данным клинического, анамнестического и электрофизиологического исследований. Пациентов исключали из исследования при наличии в анамнезе: разрыва или опухоли исследуемого нерва, хирургической декомпрессии нерва на уровне исследуемого туннеля, травматического поражения плечевого нервного сплетения и (или) формирующих его передних ветвей спинномозговых нервов на исследуемой стороне, 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. Как следует из представленных данных (табл. 2), основная и контрольная группы сопоставимы по возрасту, полу, весу и росту.

Всем пациентам, включенным в работу, выполнили ультразвуковое исследование на сканере Logic E9 (GE Healthcare, США) линейным датчиком с частотой сканирования 9–15 МГц. Ультразвуковое измерение площади поперечного сечения проводили в предварительно регламентированных сегментах нерва (рис. 1), используя для разделения стандартные анатомические ориентиры (табл. 3).

Таким образом, в каждом нерве по отношению к исследуемому туннелю выделили 5 стандартных сегментов: S1 – дистальный отдел нерва, S2 – выход из туннеля, S3 – туннель, S4 – вход в туннель, S5 – проксимальный отдел нерва.

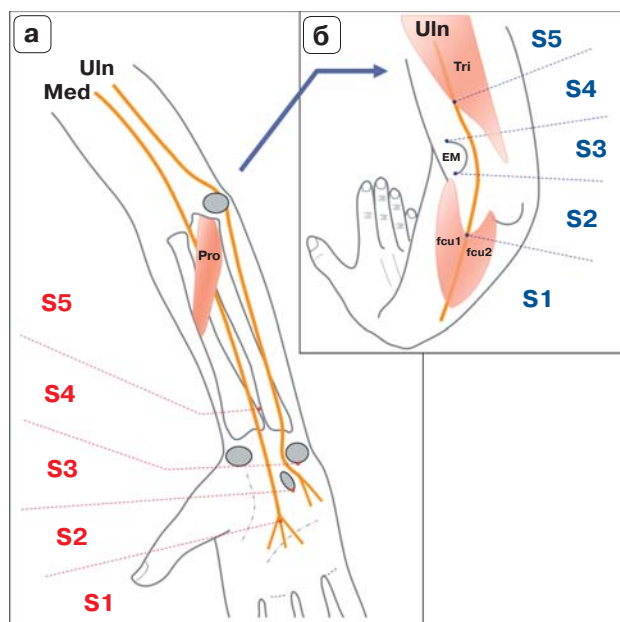


Рис. 1. Разграничение срединного (а) и локтевого (б) нервов на сегменты при ультразвуковом исследовании. Med – срединный нерв, Uln – локтевой нерв, S1–6 – сегменты, Pro – круглый пронатор, Tri – трицепс, EM – медиальный надмыщелок плечевой кости, fcu1 и fcu2 – плечевая и локтевая головки локтевого сгибателя запястья.

Для сопоставления с данными ЭНМГ использовали максимальную площадь поперечного сечения нерва, найденную в каждом сегменте или группе сегментов. Специалист, проводящий ультразвуковое исследование, не был осведомлен о результатах ЭНМГ. Временной диапазон между ультразвуковым исследованием и ЭНМГ составил $8,9 \pm 0,3$ дня (0–28 дней).

Обработку результатов исследования проводили с использованием систем стати-

Таблица 3. Ориентиры для разграничения сегментов нервов при ультразвуковом исследовании

<i>Срединный нерв (синдром запястного канала)</i>	
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 нерва из-под поверхностного сгибателя пальцев
<i>Локтевой нерв (кубитальный туннельный синдром)</i>	
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 нерва из-под медиальной головки трицепса

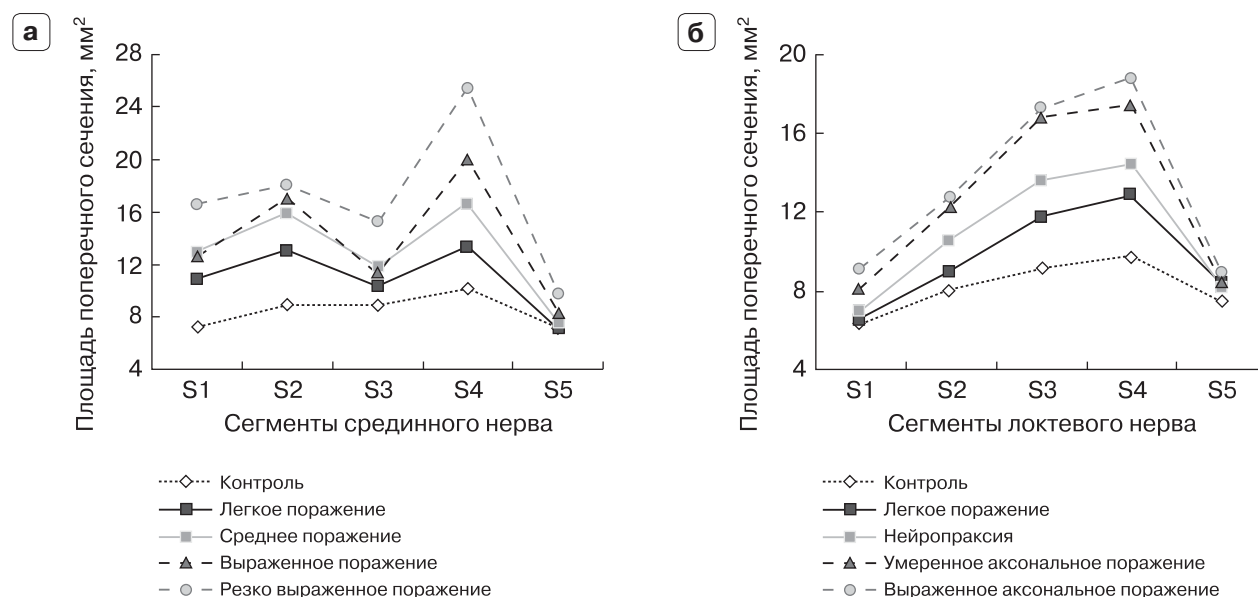


Рис. 2. Средние значения площади поперечного сечения различных сегментов в зависимости от степени поражения нерва при синдроме запястного канала (а) и кубитальном туннельном синдроме (б).

стической обработки Statistica for Windows (version 10) и MedCalc (version 16.1). Количественные данные представляли в виде среднего значения (M) $\pm$ стандартная ошибка среднего (m), минимального и максимального значений, медианы и интерквартильного размаха (25–75-й проценти). Для сравнения количественных параметров в различных группах использовали тест Крускала–Уоллиса (Kruskal–Wallis ANOVA), качественных параметров – χ^2 . Различия считали достоверными при $P \leq 0,05$. Для оценки эффективности полученных показателей использовали ROC-анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как при синдроме запястного канала, так и при кубитальном туннельном синдроме по мере увеличения степени тяжести невропатии наблюдали нарастание значений площади поперечного сечения сегментов нерва, близких к зоне компрессии (S2 – выход, S3 – туннель, S4 – вход). Изменение сегментов, удаленных от туннеля (S1, S5), было менее значительным (рис. 2). Значения площади поперечного сечения различных сегментов срединного и локтевого нервов у пациентов с различной степенью поражения, в том числе объединенного сегмента

в области туннеля (S2–4max), представлены в табл. 4 и 5. Наибольшая достоверность различий площади поперечного сечения в зависимости от степени поражения нервов определяется именно в сегменте S2–4max.

Для оценки диагностической эффективности ультразвукового измерения площади поперечного сечения в диагностике ТН проведен ROC-анализ. Площадь под кривой (AUC) была рассчитана для каждого сегмента срединного и локтевого нервов. Значения AUC сегментов в области туннеля (синдром запястного канала – от 0,787 до 0,930; кубитальный туннельный синдром – от 0,776 до 0,869) значительно превысили аналогичный показатель удаленных сегментов (синдром запястного канала – до 0,591; кубитальный туннельный синдром – до 0,666).

После объединения наиболее чувствительных сегментов (S2, S3 и S4) в один сегмент S2–4max, который по протяженности соответствует участку нерва, оцениваемому при стандартной ЭНМГ, получили более высокие значения AUC , используя в качестве показателя максимальную площадь поперечного сечения, найденную на объединенном отрезке (синдром запястного канала – 0,974; кубитальный туннельный синдром – 0,928), или сумму площадей поперечного сечения сегментов (синдром

Таблица 4. Площадь поперечного сечения сегментов срединного нерва (мм²) у пациентов с различной выраженностью поражения

Сегменты	Статистические характеристики	Контроль (n = 135)	Поражение нерва			
			Легкое (n = 49)	Среднее (n = 109)	Выраженное (n = 38)	Резко выраженное (n = 5)
S1	M ± m	7,2 ± 0,1 4-13 7 6-8	10,9 ± 0,5 6-18 10 9-13	12,8 ± 0,4 6-28 12 10-15	12,7 ± 0,7 5-22 13 8-15	16,6 ± 3,8 9-31 14 14-15
	Min-Max					
	LQ-UQ					
	Me					
S2	M ± m	8,9 ± 0,1 4-16 9 8-10	13,1 ± 0,5 7-24 12 11-14	15,9 ± 0,444 8-33 16 13-18	17,0 ± 1,0 4-33 17 13-20	18,0 ± 3,2 12-30 16 13-19
	Min-Max					
	LQ-UQ					
	Me					
S3	M ± m	8,8 ± 0,1 5-12 9 8-10	10,2 ± 0,3 7-17 10 9-11	11,7 ± 0,3 6-26 11 9-13	11,4 ± 0,5 7-20 11 10-12	15,2 ± 3,4 10-28 12 10-16
	Min-Max					
	LQ-UQ					
	Me					
S4	M ± m	10,1 ± 0,1 7-15 10 9-11	13,3 ± 0,5 8-22 13 11-15	16,6 ± 0,4 8-31 16 14-19	20,0 ± 1,1 9-33 19 15-27	25,4 ± 3,5 15-34 28 20-30
	Min-Max					
	LQ-UQ					
	Me					
S5	M ± m	7,1 ± 0,1 5-10 7 6-8	7,1 ± 0,2 5-10 7 6-8	7,6 ± 0,2 5-14 8 6-8	8,2 ± 0,2 6-11 8 8-9	9,6 ± 1,7 7-16 8 7-10
	Min-Max					
	LQ-UQ					
	Me					
S2-4max	M ± m	10,3 ± 0,1 7-16 10 10-11	14,7 ± 0,5*** 8-24 14 13-16	18,5 ± 0,4*** 11-33 18 15-21	22,3 ± 1,0*** 9-33 22 18-28	25,6 ± 3,3* 16-34 28 20-30
	Min-Max					
	LQ-UQ					
	Me					

Примечание: Min-Max – минимальное – максимальное значения, Me – медиана, LQ-UQ – нижний – верхний квартили. * – достоверность различий по сравнению с предыдущим столбцом при P < 0,05, ** – при P < 0,01, *** – при P < 0,001. Достоверность различий представлена для объединенного сегмента S2-4max.

Таблица 5. Площадь поперечного сечения сегментов локтевого нерва (мм²) у пациентов с различной выраженностью поражения

Сегменты	Статистические характеристики	Контроль (n = 141)	Поражение нерва			
			Легкое (n = 23)	Нейропраксия (n = 37)	Умеренное аксональное (n = 27)	Выраженное аксональное (n = 23)
S1	M ± m Min-Max Me LQ-UQ	6,3 ± 0,1 3-10 6 5-7	6,5 ± 0,3 4-9 6 6-8	6,8 ± 0,4 5-15 6 5-8	8,1 ± 0,5 5-14 8 6-9	9,0 ± 0,7 5-18 9 7-10
S2	M ± m Min-Max Me LQ-UQ	8,0 ± 0,1 5-11 8 7-9	9,0 ± 0,5 5-15 9 7-10	10,6 ± 0,6 5-22 10 8-12	12,2 ± 0,8 6-24 12 9-14	12,7 ± 0,8 8-21 12 9-15
S3	M ± m Min-Max Me LQ-UQ	9,2 ± 0,1 5-14 9 8-10	11,7 ± 0,7 7-20 11 10-13	13,6 ± 0,6 8-27 14 11-15	16,9 ± 1,0 9-25 17 12-22	17,3 ± 1,3 8-38 16 14-22
S4	M ± m Min-Max Me LQ-UQ	9,7 ± 0,1 6-18 10 9-11	12,8 ± 0,8 7-23 12 10-16	14,4 ± 0,9 7-31 14 11-16	17,4 ± 1,3 8-43 16 13-20	18,8 ± 1,3 10-30 17 14-25
S5	M ± m Min-Max Me LQ-UQ	7,4 ± 0,1 5-11 7 7-8	8,3 ± 0,4 5-11 8 7-10	8,1 ± 0,3 5-13 8 7-9	8,4 ± 0,3 5-12 8 7-10	8,9 ± 0,4 6-12 9 8-10
S2-4max	M ± m Min-Max Me LQ-UQ	10,1 ± 0,1 7-18 10 9-11	13,6 ± 0,8*** 7-23 13 10-16	16,4 ± 0,8** 10-31 16 14-18	19,8 ± 1,3*** 11-43 19 16-24	22,2 ± 1,2* 13-38 22 17-26

Примечание: Min-Max – минимальное – максимальное значения, Me – медиана, LQ-UQ – нижний – верхний квартили. * – достоверность различий по сравнению с предыдущим столбцом при P < 0,05, ** – при P < 0,01, *** – при P < 0,001. Достоверность различий представлена для объединенного сегмента S2-4max.

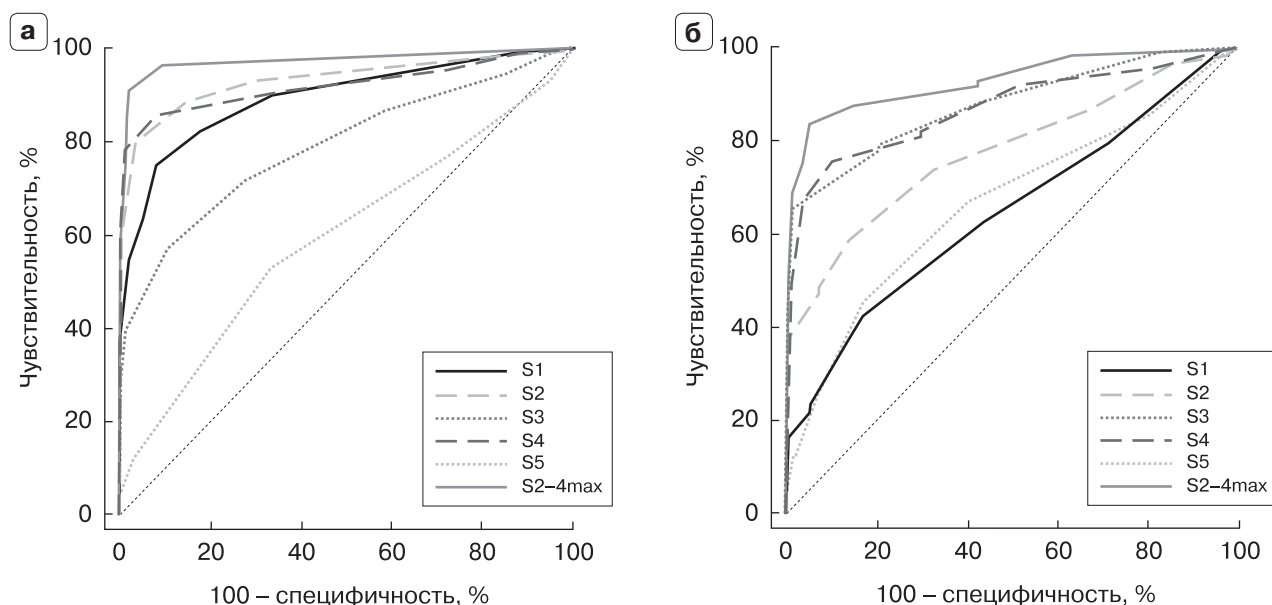


Рис. 3. Сопоставление ROC-кривых, полученных при измерении площади поперечного сечения различных сегментов срединного нерва при синдроме запястного канала (а) и локтевого нерва при кубитальном туннельном синдроме (б). Наибольшая AUC определяется для объединенного сегмента S2–4max.

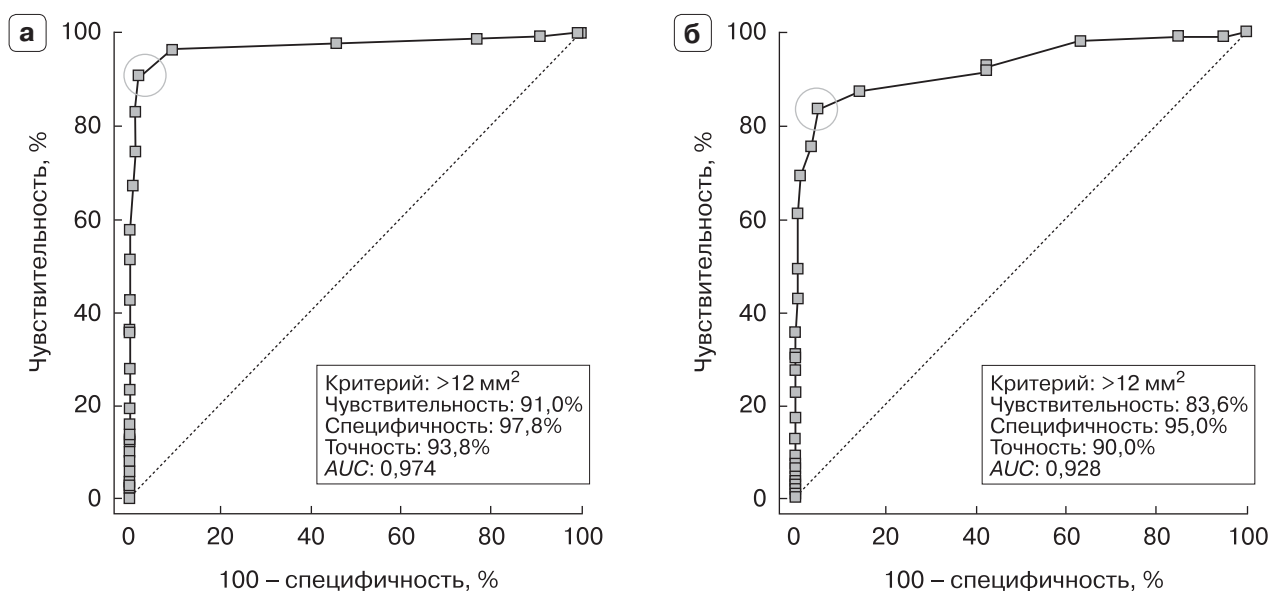


Рис. 4. Оптимальные пороговые значения площади поперечного сечения объединенного сегмента S2–4max для диагностики синдрома запястного канала (а) и кубитального туннельного синдрома (б).

запястного канала – 0,961; кубитальный туннельный синдром – 0,917) (рис. 3). Пороговые значения максимальной площади поперечного сечения объединенного сегмента S2–4max срединного и локтевого нервов для диагностики синдрома запяст-

ного канала и кубитального туннельного синдрома представлены на рис. 4. Необходимо указать, что методом верификации ТН было сочетание результатов клинического и электрофизиологического исследований.

ОБСУЖДЕНИЕ

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 площади поперечного сечения достигали наибольших величин. Изменение 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 увеличение площади поперечного сечения нерва на всем протяжении, включая плечевое сплетение [2, 15, 16]. Полученные нами результаты совпадают с данными исследований, в которых нервы оценивали по всей длине, не ограничиваясь областью туннеля [9, 16, 20, 31], и дополняют работы, описывающие изменения нервного ствола только в области компрессии [11, 26–29, 31, 32].

Учитывая общую реакцию нервного ствола на локальное сдавление, анализ изменения площади поперечного сечения проводили во всех сегментах с последующим отбором наиболее информативных уровней оценки. При проведении ROC-анализа AUC сегментов в области туннеля (S2, S3, S4) ожидаемо превысила аналогичный показатель удаленных сегментов. Однако наиболее высокие значения AUC (синдром запястного канала – 0,974; кубитальный туннельный синдром – 0,928) мы получили, используя максимальную площадь поперечного сечения, найденную на объединенном отрезке S2–4max, включающем все сегменты области туннеля. Данный феномен, когда максимальное значение площади поперечного сечения, выбранное из трех сегментов, оказывается эффективнее оценки площади поперечного сечения каждого сегмента в отдельности, мы объясняем сложной анатомией туннелей, в пределах которых существует несколько различных по объему уровней потенциальной компрессии. В этом случае типичная реакция нерва на локальное сдавление (ограниченное утолщение в точке сжатия и более выраженное утолщение смежных сегментов) будет значительно сложнее. Следует предположить, что уровень взаимосвязи между площадью поперечного сечения нерва и сте-

пенью его поражения при ТН определяется не только патофизиологическими механизмами, вызывающими утолщение нервного ствола, но и факторами, сдерживающими этот процесс. В таком случае изменяющаяся площадь поперечного сечения 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 сдерживаться, и уровень взаимосвязи между площадью поперечного сечения нерва и степенью его функционального поражения может резко снизиться. При этом увеличение смежных сегментов, пока ничем не ограниченных, может продолжаться, и их растущая площадь поперечного сечения будет коррелировать с функцией 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 площадь поперечного сечения будет “мигрировать” вдоль туннеля в направлении наибольшего пространства (рис. 5). При этом именно сегмент с максимальной площадью поперечного сечения будет наиболее точно отражать степень поражения нерва на данной стадии невропатии.

В таком случае в “сложных” туннелях результат оценки площади поперечного сечения 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 площади поперечного сечения на данном уровне становится некорректной. Следовательно, предлагаемое в большинстве методик измерение площади поперечного сечения нерва на регламентированном, привязанном к определенному анатомическому ориентиру, уровне (например, гороховидная кость при синдроме запястного канала или медиаль-

ный надмыщелок плечевой кости при кубитальном туннельном синдроме) может допустить оценку на неинформативных участках нерва, что неизбежно скажется на общей эффективности диагностического теста.

Поиск максимального значения площади поперечного сечения нерва на всем протяжении туннеля, включая смежные сегменты, позволяет минимизировать влияние “миграции” на диагностический тест и более точно сопоставить данные ультразвукового исследования с нарастающими функциональными нарушениями, что подтверждается в нашем исследовании данными ROC-анализа.

Мы предполагаем, что по такой схеме могут развиваться туннельные конфликты в карпальном канале и кубитальной области. Так, сдавление срединного нерва под проксимальным краем ретинакулула карпального канала может провоцировать его ущемление на уровне крючковидной кости. А первичное сжатие локтевого нерва под фасцией Озборна запускает утолщение смежного сегмента, который вторично сдавливается в позадинадыщелковом желобе или наоборот. Сценарий каскадного сдавления в неравномерном по объему туннеле косвенно подтверждается исследованием Y. Suzuki, Y. Shirai [33] на модели с седалищным нервом, помещенным в трубки различного диаметра. В данном эксперименте первичная компрессия нервного ствола в узкой трубке приводила к снижению скорости проведения по его сегменту на уровне широкой трубки, расположенной проксимальнее или дистальнее [33]. Кроме того, наше предположение подтверждается результатами работ по исследованию карпального и кубитального туннельных синдромов, в которых в качестве диагностического теста использовалась максимальная площадь поперечного сечения нерва, найденная в пределах исследуемого туннеля [34, 35].

Таким образом, методика ультразвуковой диагностики карпального и кубитального туннельных синдромов может быть оптимизирована за счет поиска максимального значения площади поперечного сечения на отрезке, объединяющем все сегменты нерва в области туннеля (S2 – выход, S3 – туннель, S4 – вход), что позволяет получить более высокий уровень диагности-

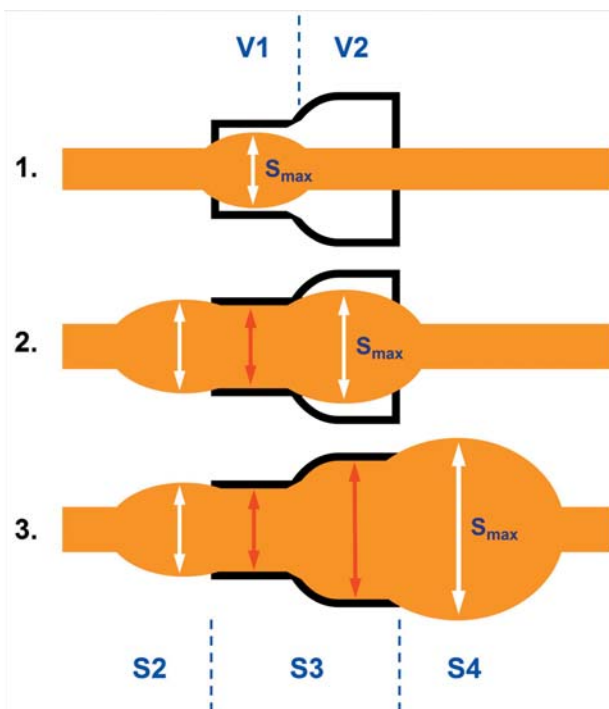


Рис. 5. Схема “миграции” максимальной площади поперечного сечения нерва в двухуровневом туннеле. Сегменты нерва в области туннеля: S2 – выход из туннеля, S3 – туннель, S4 – вход в туннель. Утолщение нерва, не ограниченное туннелем, указано белыми стрелками, утолщение нерва, ограниченное туннелем, – красными стрелками. На начальном этапе (1) максимальная площадь поперечного сечения 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 площади поперечного сечения на входе в туннель. Максимальная площадь поперечного сечения (S_{max}) перемещается вдоль туннеля в направлении наибольшего пространства.

ческой эффективности, чем при оценке каждого сегмента в отдельности. Выявленные пороговые значения максимальной площади поперечного сечения нервов в области туннеля можно использовать для диагностики синдрома запястного канала (норма – $\leq 12 \text{ мм}^2$, патология – $> 12 \text{ мм}^2$ (чувствительность – 91,0%, специфичность – 97,8%, точность – 93,8%, $AUC - 0,974$)) и кубитального туннельного синдрома (норма – $\leq 12 \text{ мм}^2$, патология – $> 12 \text{ мм}^2$ (чувствительность – 83,6%, специфичность – 95,0%, точность – 90,0%, $AUC - 0,928$)).

Авторы выражают свою признательность М.Д. Митьковой за ценные рекомендации, которые легли в основу данного исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Giersiepen K., Spallek M. Carpal tunnel syndrome as an occupational disease // Dtsch. Arztebl. Int. 2011. V. 108. No. 14. P. 238–242.
- Kerasnoudis A., Pitarokoli K., Behrendt V., Gold R., Yoon M.S. Cross sectional area reference values for sonography of peripheral nerves and brachial plexus // Clin. Neurophysiol. 2013. V. 124. No. 9. P. 1881–1888.
- Latinovic R., Gulliford M.C., Hughes R.A. Incidence of common compressive neuropathies in primary care // J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry. 2006. V. 77. No. 2. P. 263–265.
- Ghasemi-Rad M., Nosair E., Vegh A., Mohammadi A., Akkad A., Leshia E., Mohammadi M.H., Sayed D., Davarian A., Maleki-Miyandoab T., Hasan A. A handy review of carpal tunnel syndrome: From anatomy to diagnosis and treatment // World J. Radiol. 2014. V. 6. No. 6. P. 284–300.
- Ibrahim I., Khan W.S., Goddard N., Smitham P. et al. Carpal tunnel syndrome: a review of the recent literature // Open Orthop. J. 2012. V. 6. Suppl. P. 69–76.
- McDonagh C., Alexander M., Kane D. The role of ultrasound in the diagnosis and management of carpal tunnel syndrome: a new paradigm // Rheumatology (Oxford). 2015. V. 54. No. 1. P. 9–19.
- Luchetti R., Amadio P. Carpal Tunnel Syndrome. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2002. 392 p.
- Miller T.T., Reinus W.R. Nerve entrapment syndromes of the elbow, forearm, and wrist // Am. J. Roentgenol. 2010. V. 195. No. 3. P. 585–594.
- Pais R., Fodor D., Fisher T. Bilateral cubital tunnel syndrome. Case report with review of the literature // Medical Ultrasonography. 2009. V. 11. No. 2. P. 31–36.
- Bouche P. Compression and entrapment neuropathies // Handb. Clin. Neurol. 2013. V. 115. P. 311–366.
- Padua L., Pazzaglia C., Caliandro P., Granata G., Foschini M., Briani C., Martinoli C. Carpal tunnel syndrome: ultrasound, neurophysiology, clinical and patient-oriented assessment // Clin. Neurophysiol. 2008. V. 119. No. 9. P. 2064–2069.
- Martinoli C., Bianchi S., Gandolfo N., Valle M., Simonetti S., Derchi L.E. US of nerve entrapments in osteofibrous tunnels of the upper and lower limbs // Radiographics. 2000. V. 20. Special No. P. S199–S217.
- Padua L., Hobson-Webb L.D. Ultrasound as the first choice for peripheral nerve imaging? // Neurology. 2013. V. 80. No. 18. P. 1626–1627.
- Dang A.C., Rodner C.M. Unusual compression neuropathies of the forearm, part I: radial nerve // J. Hand Surg. Am. 2009. V. 34. No. 10. P. 1906–1914.
- Suk J.I., Walker F.O., Cartwright M.S. Ultrasonography of peripheral nerves // Curr. Neurol. Neurosci. Rep. 2013. V. 13. No. 2. P. 328. Doi: 10.1007/s11910-012-0328-x.
- Hobson-Webb L.D., Massey J.M., Juel V.C., Sanders D.B. The ultrasonographic wrist-to-forearm median nerve area ratio in carpal tunnel syndrome // Clin. Neurophysiol. 2008. V. 119. No. 6. P. 1353–1357.
- Duckworth A.D., Jenkins P.J., McEachan J.E. Diagnosing carpal tunnel syndrome // J. Hand Surg. Am. 2004. V. 39. No. 7. P. 1403–1407.
- Stanley J. Radial tunnel syndrome: a surgeon's perspective // J. Hand Ther. 2006. V. 19. No. 2. P. 180–184.
- Padua L., Di Pasquale A., Liotta G., Granata G., Pazzaglia C., Erra C., Briani C., Coraci D., De Franco P., Antonini G., Martinoli C. Ultrasound as a useful tool in the diagnosis and management of traumatic nerve lesions // Clin. Neurophysiol. 2013. V. 124. No. 6. P. 1237–1243.
- Kim J.H., Won S.J., Rhee W.I., Park H.J., Hong H.M. Diagnostic cutoff value for ultrasonography in the ulnar neuropathy at the elbow // Ann. Rehabil. Med. 2015. V. 39. No. 2. P. 170–175.
- Campbell W.W. Evaluation and management of peripheral nerve injury // Clin. Neurophysiol. 2008. V. 119. No. 9. P. 1951–1965.
- Салтыкова В.Г., Митькова М.Д. Роль эхографии в исследовании периферических нервов конечностей // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2011. № 3. С. 93–106.
- Берснев В.П., Кокин Г.С., Извекова Т.О. Практическое руководство по хирургии нервов. Т. 1 / Под ред. В.П. Берснева. СПб.: РНХИ им. А.И. Поленова, 2009. 296 с.
- Kang H.J., Jung S.H., Yoon H.K., Hahn S.B., Kim S.J. Carpal tunnel syndrome caused by space occupying lesions // Yonsei Med. J. 2009. V. 50. No. 2. P. 257–261.
- Bianchi S. Ultrasound of the peripheral nerves // Joint Bone Spine. 2008. V. 75. No. 6. P. 643–649.
- Mondelli M., Filippou G., Gallo A., Frediani B. Diagnostic utility of ultrasonography versus nerve conduction studies in mild carpal tunnel syndrome // Arthritis Rheum. 2008. V. 59. No. 3. P. 357–366.
- Ayromlou H., Tarzamni M.K., Daghighi M.H., Pezeshki M.Z., Yazdchi M., Sadeghi-Hokmabadi E., Sharifipour E., Ghabili K. Diagnostic value of ultrasonography and magnetic resonance imaging in ulnar neuropathy at the elbow // ISRN Neurol. 2012. Doi: 10.5402/2012/491892.
- Koyuncuoglu H.R., Kutluhan S., Yesildag A., Oyar O., Guler K., Ozden A. The value of ultrasonographic measurement in carpal tunnel syndrome in patients with negative electrodiagnostic tests // Eur. J. Radiol. 2005. V. 56. No. 3. P. 365–369.
- Naranjo A., Ojeda S., Mendoza D., Francisco F., Quevedo J.C., Erausquin C. What is the diagnostic value of ultrasonography compared to physical evaluation in patients with idiopathic carpal tunnel syndrome? // Clin. Exp. Rheumatol. 2007. V. 25. No. 6. P. 853–859.
- Ng E.S., Vijayan J., Therimadasamy A.K., Tan T.C., Chan Y.C., Lim A., Wilder-Smith E. High resolution ultrasonography in the diagnosis of ulnar nerve lesions with particular reference to post-traumatic lesions and sites outside the elbow // Clin. Neurophysiol. 2011. V. 122. No. 1. P. 188–193.

31. Simon N.G., Ralph J.W., Poncelet A.N., Engstrom J.W., Chin C., Kliot M. A comparison of ultrasonographic and electrophysiologic "inching" in ulnar neuropathy at the elbow // *Clin. Neurophysiol.* 2015. V. 126. No. 2. P. 391–398.
 32. Jacob D., Creteur V., Courthaliac C., Bargoin R., Sassus B., Bacq C., Rozies J.L., Cercueil J.P., Brasseur J.L. Sonoanatomy of the ulnar nerve in the cubital tunnel: a multicentre study by the GEL // *Eur. Radiol.* 2004. V. 14. No. 10. P. 1770–1773.
 33. Suzuki Y., Shirai Y. Motor nerve conduction analysis of double crush syndrome in a rabbit model // *J. Orthop. Sci.* 2003. V. 8. No. 1. P. 69–74.
 34. Klauser A.S., Halpern E.J., De Zordo T., Feuchtner G.M., Arora R., Gruber J., Martinoli C., Loscher W.N. Carpal tunnel syndrome assessment with US: value of additional cross-sectional area measurements of the median nerve in patients versus healthy volunteers // *Radiology.* 2009. V. 250. No. 1. P. 171–177.
 35. Volpe A., Rossato G., Bottanelli M., Marchetta A., Caramaschi P., Bambara L.M., Bianconi C., Arcaro G., Grassi W. Ultrasound evaluation of ulnar neuropathy at the elbow: correlation with electrophysiological studies // *Rheumatology (Oxford).* 2009. V. 48. No. 9. P. 1098–1101.
- ## REFERENCES
1. Giersiepen K., Spallek M. Carpal tunnel syndrome as an occupational disease // *Dtsch. Arztebl. Int.* 2011. V. 108. No. 14. P. 238–242.
 2. Kerasnoudis A., Pitarokoili K., Behrendt V., Gold R., Yoon M.S. Cross sectional area reference values for sonography of peripheral nerves and brachial plexus // *Clin. Neurophysiol.* 2013. V. 124. No. 9. P. 1881–1888.
 3. Latinovic R., Gulliford M.C., Hughes R.A. Incidence of common compressive neuropathies in primary care // *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 2006. V. 77. No. 2. P. 263–265.
 4. Ghasemi-Rad M., Nosair E., Vegh A., Mohammadi A., Akkad A., Lasha E., Mohammadi M.H., Sayed D., Davarian A., Maleki-Miyandoab T., Hasan A. A handy review of carpal tunnel syndrome: From anatomy to diagnosis and treatment // *World J. Radiol.* 2014. V. 6. No. 6. P. 284–300.
 5. Ibrahim I., Khan W.S., Goddard N., Smitham P. et al. Carpal tunnel syndrome: a review of the recent literature // *Open Orthop. J.* 2012. V. 6. Suppl. P. 69–76.
 6. McDonagh C., Alexander M., Kane D. The role of ultrasound in the diagnosis and management of carpal tunnel syndrome: a new paradigm // *Rheumatology (Oxford).* 2015. V. 54. No. 1. P. 9–19.
 7. Luchetti R., Amadio P. Carpal Tunnel Syndrome. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2002. 392 p.
 8. Miller T.T., Reinus W.R. Nerve entrapment syndromes of the elbow, forearm, and wrist // *Am. J. Roentgenol.* 2010. V. 195. No. 3. P. 585–594.
 9. Pais R., Fodor D., Fisher T. Bilateral cubital tunnel syndrome. Case report with review of the literature // *Medical Ultrasonography.* 2009. V. 11. No. 2. P. 31–36.
 10. Bouche P. Compression and entrapment neuropathies // *Handb. Clin. Neurol.* 2013. V. 115. P. 311–366.
 11. Padua L., Pazzaglia C., Caliendo P., Granata G., Foschini M., Briani C., Martinoli C. Carpal tunnel syndrome: ultrasound, neurophysiology, clinical and patient-oriented assessment // *Clin. Neurophysiol.* 2008. V. 119. No. 9. P. 2064–2069.
 12. Martinoli C., Bianchi S., Gandolfo N., Valle M., Simonetti S., Derchi L.E. US of nerve entrapments in osteofibrous tunnels of the upper and lower limbs // *Radiographics.* 2000. V. 20. Special No. P. S199–S217.
 13. Padua L., Hobson-Webb L.D. Ultrasound as the first choice for peripheral nerve imaging? // *Neurology.* 2013. V. 80. No. 18. P. 1626–1627.
 14. Dang A.C., Rodner C.M. Unusual compression neuropathies of the forearm, part I: radial nerve // *J. Hand Surg. Am.* 2009. V. 34. No. 10. P. 1906–1914.
 15. Suk J.I., Walker F.O., Cartwright M.S. Ultrasonography of peripheral nerves // *Curr. Neurol. Neurosci. Rep.* 2013. V. 13. No. 2. P. 328. Doi: 10.1007/s11910-012-0328-x.
 16. Hobson-Webb L.D., Massey J.M., Juel V.C., Sanders D.B. The ultrasonographic wrist-to-forearm median nerve area ratio in carpal tunnel syndrome // *Clin. Neurophysiol.* 2008. V. 119. No. 6. P. 1353–1357.
 17. Duckworth A.D., Jenkins P.J., McEachan J.E. Diagnosing carpal tunnel syndrome // *J. Hand Surg. Am.* 2004. V. 39. No. 7. P. 1403–1407.
 18. Stanley J. Radial tunnel syndrome: a surgeon's perspective // *J. Hand Ther.* 2006. V. 19. No. 2. P. 180–184.
 19. Padua L., Di Pasquale A., Liotta G., Granata G., Pazzaglia C., Erra C., Briani C., Coraci D., De Franco P., Antonini G., Martinoli C. Ultrasound as a useful tool in the diagnosis and management of traumatic nerve lesions // *Clin. Neurophysiol.* 2013. V. 124. No. 6. P. 1237–1243.
 20. Kim J.H., Won S.J., Rhee W.I., Park H.J., Hong H.M. Diagnostic cutoff value for ultrasonography in the ulnar neuropathy at the elbow // *Ann. Rehabil. Med.* 2015. V. 39. No. 2. P. 170–175.
 21. Campbell W.W. Evaluation and management of peripheral nerve injury // *Clin. Neurophysiol.* 2008. V. 119. No. 9. P. 1951–1965.
 22. Saltykova V.G., Mitkova M.D. Ultrasound diagnostics in examination of extremities peripheral nerves // *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2011. No. 3. P. 93–106. (Article in Russian)
 23. Bersnev V.P., Kokin G.S., Izvekova T.O. Manual of Nerve Surgery. V. 1 / Ed. by V.P. Bersnev. Saint-Petersburg: Polenov Russian Scientific Research Institute of Neurosurgery, 2009. 296 p. (Book in Russian)
 24. Kang H.J., Jung S.H., Yoon H.K., Hahn S.B., Kim S.J. Carpal tunnel syndrome caused by space occupying lesions // *Yonsei Med. J.* 2009. V. 50. No. 2. P. 257–261.
 25. Bianchi S. Ultrasound of the peripheral nerves // *Joint Bone Spine.* 2008. V. 75. No. 6. P. 643–649.
 26. Mondelli M., Filippou G., Gallo A., Frediani B. Diagnostic utility of ultrasonography versus nerve conduction studies in mild carpal tunnel syndrome // *Arthritis Rheum.* 2008. V. 59. No. 3. P. 357–366.

27. Ayromlou H., Tarzamni M.K., Daghighi M.H., Pezeshki M.Z., Yazdchi M., Sadeghi-Hokmabadi E., Sharifipour E., Ghabili K. Diagnostic value of ultrasonography and magnetic resonance imaging in ulnar neuropathy at the elbow // *ISRN Neurol.* 2012. Doi: 10.5402/2012/491892.
28. Koyuncuoglu H.R., Kutluhan S., Yesildag A., Oyar O., Guler K., Ozden A. The value of ultrasonographic measurement in carpal tunnel syndrome in patients with negative electrodiagnostic tests // *Eur. J. Radiol.* 2005. V. 56. No. 3. P. 365–369.
29. Naranjo A., Ojeda S., Mendoza D., Francisco F., Quevedo J.C., Erausquin C. What is the diagnostic value of ultrasonography compared to physical evaluation in patients with idiopathic carpal tunnel syndrome? // *Clin. Exp. Rheumatol.* 2007. V. 25. No. 6. P. 853–859.
30. Ng E.S., Vijayan J., Therimadasamy A.K., Tan T.C., Chan Y.C., Lim A., Wilder-Smith E. High resolution ultrasonography in the diagnosis of ulnar nerve lesions with particular reference to post-traumatic lesions and sites outside the elbow // *Clin. Neurophysiol.* 2011. V. 122. No. 1. P. 188–193.
31. Simon N.G., Ralph J.W., Poncelet A.N., Engstrom J.W., Chin C., Kliot M. A comparison of ultrasonographic and electrophysiologic “inching” in ulnar neuropathy at the elbow // *Clin. Neurophysiol.* 2015. V. 126. No. 2. P. 391–398.
32. Jacob D., Creteur V., Courthaliac C., Bargoin R., Sassus B., Bacq C., Rozies J.L., Cercueil J.P., Brasseur J.L. Sonoanatomy of the ulnar nerve in the cubital tunnel: a multicentre study by the GEL // *Eur. Radiol.* 2004. V. 14. No. 10. P. 1770–1773.
33. Suzuki Y., Shirai Y. Motor nerve conduction analysis of double crush syndrome in a rabbit model // *J. Orthop. Sci.* 2003. V. 8. No. 1. P. 69–74.
34. Klauser A.S., Halpern E.J., De Zordo T., Feuchtner G.M., Arora R., Gruber J., Martinoli C., Loscher W.N. Carpal tunnel syndrome assessment with US: value of additional cross-sectional area measurements of the median nerve in patients versus healthy volunteers // *Radiology.* 2009. V. 250. No. 1. P. 171–177.
35. Volpe A., Rossato G., Bottanelli M., Marchetta A., Caramaschi P., Bambara L.M., Bianconi C., Arcaro G., Grassi W. Ultrasound evaluation of ulnar neuropathy at the elbow: correlation with electrophysiological studies // *Rheumatology (Oxford).* 2009. V. 48. No. 9. P. 1098–1101.

Cascade Thickening of Nerves in Multilevel Tunnels

E.Yu. Maletskiy¹, N.Yu. Alexandrov¹, E.V. Rozengauz¹,

I.E. Itskovich¹, M.M. Korotkevich²

¹ *North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg*

² *Polenov Russian Scientific Research Institute of Neurosurgery, Federal Almazov North-West Medical Research Centre, Saint-Petersburg*

E.Yu. Maletskiy – M.D., Assistant Professor, Department of Radiology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg. N.Yu. Alexandrov – M.D., Ph.D., Associate Professor, Department of Functional Diagnostics, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg. E.V. Rozengauz – M.D., Ph.D., Professor, Department of Radiology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg. I.E. Itskovich – M.D., Ph.D., Professor, Director, Department of Radiology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg. M.M. Korotkevich – M.D., Department of Neurosurgery No. 1, Polenov Russian Scientific Research Institute of Neurosurgery, Federal Almazov North-West Medical Research Centre, Saint-Petersburg.

Aim of the study was to optimize ultrasound nerves examination technology in upper limb tunnel neuropathies. 201 median nerves (122 patients aged 26–70 years old with clinical and electrophysiological signs of carpal tunnel syndrome) and 110 ulnar nerves (88 patients aged 20–74 years old with clinical and electrophysiological signs of cubital tunnel syndrome) were investigated. The control group included 135 median nerves (84 healthy volunteers aged 25–70 years old) and 141 ulnar nerves (91 healthy volunteers aged 24–77 years old). Cross-section area was measured at distal part of nerve (S1), at level of tunnels exit (S2), at level of tunnel (S3), at level of entrance to tunnel (S4), and at proximal part of nerve (S5). AUC values for segments within tunnel in carpal tunnel syndrome ranged from 0.787 to 0.930; in cubital tunnel syndrome – from 0.776 to 0.869. They were significantly higher than in remote segments (carpal tunnel syndrome – up to 0.591; cubital tunnel syndrome – up to 0.666). After merging segments, which had the highest sensitivity, in the single segment S2–4 max, and using maximum value of nerve cross sectional area in this merged segment as a cut-off, higher AUC value was achieved. Cut-off values of maximum nerve cross-sectional area within tunnel can be used for the diagnosis of carpal tunnel syndrome (norm – $\leq 12 \text{ mm}^2$, pathology – $> 12 \text{ mm}^2$, AUC – 0.974) and cubital tunnel syndrome (norm – $\leq 12 \text{ mm}^2$, pathology – $> 12 \text{ mm}^2$, AUC – 0.928).

Key words: *high resolution ultrasound of peripheral nerves, carpal tunnel syndrome, median nerve neuropathy, cubital tunnel syndrome, ulnar neuropathy at the elbow, cross-section area.*