



Измерение периферических нервов: сопоставление ультразвуковых, магнитно-резонансных и интраоперационных данных

Малецкий Э.Ю.¹, Короткевич М.М.², Бутова А.В.¹,
Александров Н.Ю.¹, Ицкович И.Э.¹

¹ ГБОУ ВПО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

² Филиал ФГБУ «Северо-Западный федеральный медицинский исследовательский центр» Минздрава России «Российский научно-исследовательский институт нейрохирургии им. А.Л. Поленова», Санкт-Петербург, Россия

Measurements of Peripheral Nerves: Comparison of Ultrasound, MRI and Direct Intraoperative Data

Maletskiy E.Yu.¹, Kоротkevich M.M.², Butova A.V.¹,
Alexandrov N.Yu.¹, Itskovich I.E.¹

¹ I.I. Mechnikov North-West State Medical University, Saint-Petersburg, Russia

² A.L. Polenov Neurosurgical Institute, branch of the Federal North-West Medical Research Centre, Saint-Petersburg, Russia

Цель исследования: оценить точность измерений периферических нервов при УЗИ.

Материал и методы. У 66 пациентов исследовали 71 периферический нерв. Всем пациентам выполнили УЗИ по стандартной методике с оценкой максимального и минимального диаметров поперечного сечения нерва на различных уровнях. Для верификации данных УЗИ использовали результаты стандартного интраоперационного измерения нерва и результаты, полученные при МРТ. Для оценки степени зависимости УЗИ от оператора предложили двум независимым исследователям оценить размер нерва на одной и той же серии ультразвуковых изображений.

Результаты. При оценке точности ультразвуковых измерений получили очень высокие коэффициенты линейной корреляции Пирсона и ранговой корреляции Спирмена, которые составили при сопоставлении с интраоперационными измерениями +0,97 и +0,95, при сопоставлении с МРТ +0,98 и +0,97, при сопоставлении с независимым оператором +0,99. Результаты, полученные при непосредственном измерении нерва в ране и при МРТ, были стабильно больше соответствующих им измерений при УЗИ, что объясняется особенностями ультразвуковой визуализации нерва и методикой его измерения.

Выводы. При УЗИ возможно высокоточное измерение периферических нервов. Зависимость результатов УЗИ от оператора компенсируется высоким уровнем воспроизводимости при соблюдении общепринятой методики измерения нерва.

Ключевые слова: невралгия, повреждение периферических нервов, сонография, УЗИ периферических нервов, МРТ периферических нервов, площадь поперечного сечения нерва.

Aim. Assess the accuracy of measurement of peripheral nerves by ultrasound (US).

Material and methods. Peripheral nerve diameters on different sites were measured using US, MRI and with manual measurement intraoperatively. US measurement and direct measurement of nerve diameters were made independently by US operator and neurosurgeon. US measurement was done by two independent investigators. Maximal and minimal diameter was measured in each case. The data were collected and then estimated statistically using linear Pearson correlation and range Spearman correlation methods.

Results. Obtained data have shown high correlation between US measurements compared with MRI and with



direct intraoperative measurement with +0.98 (Pearson c.c.), +0.97 (Spearman c.c.) and +0.97 (Pearson c.c.), +0.95 (Spearman c.c.) respectively, when compared with the independent operator +0.99. Also, nerve diameters measured with US were slightly greater in all cases in compare with MRI data and direct intraoperative measurements, that can be explained by US measurement features.

Conclusion. Ultrasound examination allows to highly accurately measure the peripheral nerves. Dependence of results from the operator is minimized when measured by the standard method.

Key words: neuropathy, high resolution sonography of peripheral nerves, ultrasound, MRI, nerve cross-section area.

Введение

Для диагностики невропатий верхних и нижних конечностей во многих случаях бывает достаточно клинического обследования. Это возможно благодаря характерным жалобам, анамнезу, а также высокоспецифичным провокационным тестам, чувствительность и специфичность которых при ряде туннельных невропатий превышают 90% [1–3]. Для определения характера и степени поражения нерва необходимо применение инструментальных методов.

Изменение функционального состояния нерва можно с высокой точностью оценить с помощью электрофизиологического исследования, включающего стимуляционную электронейромиографию с исследованием проведения по нерву и игольчатую электромиографию с исследованием биоэлектрической активности мышц [4]. Однако электрофизиологическое обследование не предоставляет информации о морфологических изменениях нервного ствола и окружающих его анатомических структур. Для этого необходимо применение методов лучевой визуализации.

Методом выбора для лучевой диагностики заболеваний нервной системы традиционно считается МРТ [5]. Однако при исследовании периферических нервов возможности МРТ оказались значительно ограничены большой протяженностью исследуемых структур. Стоимость и продолжительность МРТ-исследования не позволяют изучить нервный ствол на всем протяжении и провести исследование обеих рук, что может существенно снижать информативность методики, особенно при диффузных и мультифокальных поражениях [3, 6–8]. Достаточно сложно, учитывая косой ход нервов, получить качественные продольные изображения нервного ствола.

Сложности применения МРТ предопределили попытки визуализации периферических нервов с помощью УЗИ, имеющего ряд очевидных преимуществ:

1) простота исполнения и относительно невысокая стоимость УЗИ позволяют быстро осмотреть интересующие пары нервов на всем протяжении;

2) ультразвуковая (УЗ) визуализация нервных стволов конечностей не сопряжена с физическими ограничениями от костей или газа, делающими невозможным подобное исследование в других анатомических областях;

3) накоплен значительный опыт УЗ-визуализации самых различных мягкотканых структур, близких по своим биофизическим характеристикам периферическим нервам (сухожилия, мышцы, головной и спинной мозг).

Однако попытки УЗ-визуализации нервов вызвали сомнения клиницистов, что было связано прежде всего с относительно небольшими размерами нервных стволов и значительной зависимостью результатов исследования от уровня подготовки оператора. В ряде исследований,

Для корреспонденции: Малецкий Эдуард Юрьевич – 191015, Санкт-Петербург, Кирочная 41, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова; кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии. Тел. 8-812-303-50-82. E-mail: edikm@yandex.ru

Малецкий Эдуард Юрьевич – ассистент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург; **Короткевич Михаил Михайлович** – нейрохирург отделения хирургии травмы центральной и периферической нервной системы и функциональной нейрохирургии Российского научно-исследовательского института нейрохирургии им. А.Л. Поленова, Санкт-Петербург; **Бутова Анна Владимировна** – ассистент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург; **Александров Николай Юрьевич** – канд. мед. наук, доцент кафедры функциональной диагностики Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург; **Ицкович Ирина Эммануиловна** – доктор мед. наук, заведующая кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург.

Contact: Maletskiy Eduard Yurevich – Russia, Saint-Petersburg, 191015 Kirochnaya 41, Department of Radiology, I.I. Mechnikov North-West State Medical University. Tel. 8-812-303-50-82. E-mail: edikm@yandex.ru

Maletskiy Eduard Yurievich – assistant of the Department of Radiology of I.I. Mechnikov North-West State Medical University, Saint-Petersburg; **Korotkevich Mikhail Mikhailovich** – neurosurgeon of the Department of Surgery trauma of the central and peripheral nervous system and functional neurosurgery of Polenov's Russian Neurosurgical Institute, Saint-Petersburg; **Butova Anna Vladimirovna** – assistant of the Department of Radiology of I.I. Mechnikov North-West State Medical University, Saint-Petersburg; **Alexandrov Nikolay Yurievich** – cand. of med. sci., Department of Functional Diagnostics of I.I. Mechnikov North-West State Medical University, Saint-Petersburg; **Itskovich Irina Emmanuilovna** – doct. of med. sci., Head of Department of Radiology of I.I. Mechnikov North-West State Medical University, Saint-Petersburg.

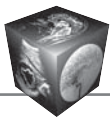


Рис. 1. Схематичное изображение нерва при поперечном (а) и продольном (б) УЗ-сканировании: анэхогенные (черные) пучки нервных волокон на фоне гиперэхогенных (белых) оболочек нерва.

проводившихся с целью обосновать УЗ-методику визуализации периферических нервов, были сформулированы следующие задачи:

- 1) подтвердить принципиальную возможность УЗ-визуализации периферического нерва [9, 10];
- 2) сформировать надежный УЗ-паттерн периферического нерва [11, 12];
- 3) описать УЗ-топографическую анатомию различных периферических нервов [10, 13–16];
- 4) оценить точность измерений периферических нервов при УЗИ [12, 17].

1. Подтверждение возможности УЗ-визуализации нерва

V.D. Fornage в 1988 г. при обследовании срединного, локтевого, седалищного и малоберцового нервов трупа под УЗ-контролем вводил в ствол нерва 0,2 мл китайской туши. Определение красителя в стволе нерва при макро- и микроскопическом анализе срезов подтверждало объективность УЗ-визуализации [9]. Этот же прием использовали S. Peeg и соавт. в 2002 г. для подтверждения УЗ-визуализации нервов нижней конечности трупа [10]. Помимо экспериментального направления возможность визуализации нервов была доказана при интраоперационном выявлении описанной при УЗИ патологии, прежде всего опухолей и разрывов нервов [9, 11, 18–20].

2. Формирование надежного УЗ-паттерна периферического нерва

Для правильной интерпретации получаемого при УЗИ изображения периферического нерва M. Graif в 1991 г. и E. Silvestri в 1995 г. проводили сопоставление ультразвуковых и соответствующих им гистологических срезов образцов нервов человека, иссеченных после ампутации конечности [11, 12], и образцов нервов животных [12]. Помимо описания изображений, E. Silvestri провел количественную оценку числа пучков нервных волокон, выявляемых в 12 срезах каждого образца, и получил высокий уровень корреляции между ультразвуковым и гистологическим исследованиями. Таким образом, была доказана возможность УЗ-визуализации фасцикулярного строения нервного ствола и описан УЗ-паттерн нерва с гипозоногенными пучками нервных волокон на фоне гиперэхогенных оболочек (рис. 1).

3. Описание УЗ-топографической анатомии отдельных периферических нервов

Для выработки методики УЗ-поиска нерва и уверенной его дифференциации от окружающих мягкотканых структур проводили сопоставление соответствующих ультразвуковых, гистологических [10, 14–16] и криомикротомических [10, 13, 15, 16] поперечных срезов конечностей трупа на различных уровнях. Также описывали ход периферического нерва и его анатомическое окружение при УЗИ добровольцев [5, 7, 11, 14].

4. Оценка точности измерений периферических нервов при УЗИ

W. Buchberger в 1992 г. провел сопоставление измерений толщины срединного нерва при МРТ и УЗИ и получил аналогичные результаты [17]. E. Silvestri в 1995 г. при микроскопии гистологических срезов оценил толщину нерва и диаметр отдельных пучков нервных волокон, сопоставил полученные результаты с измерениями на соответствующих УЗ-срезах и не получил статистически значимых различий [12].

Таким образом, возможность УЗИ периферических нервов была неоднократно и убедительно доказана [9, 10, 12, 17]. Однако все работы по сопоставлению измерений нерва методами прямой и УЗ-визуализации проводили или *in vitro* [11, 12], или на трупах [9, 10]. При этом сначала сонографически 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 теоретически могло повлиять на размеры нерва. Сопоставление измерений нервов *in vivo* методами прямой и УЗ-визуализации не проводили. Работы по сопоставлению измерений нерва при УЗИ и МРТ проводили неоднократно [17, 20], однако в связи с постоянным обновлением и усовершенствованием технического и программного обеспечения эти данные требуют периодического уточнения. Это и определило актуальность нашего исследования.

Цель исследования

Оценить точность измерений периферических нервов при УЗИ.

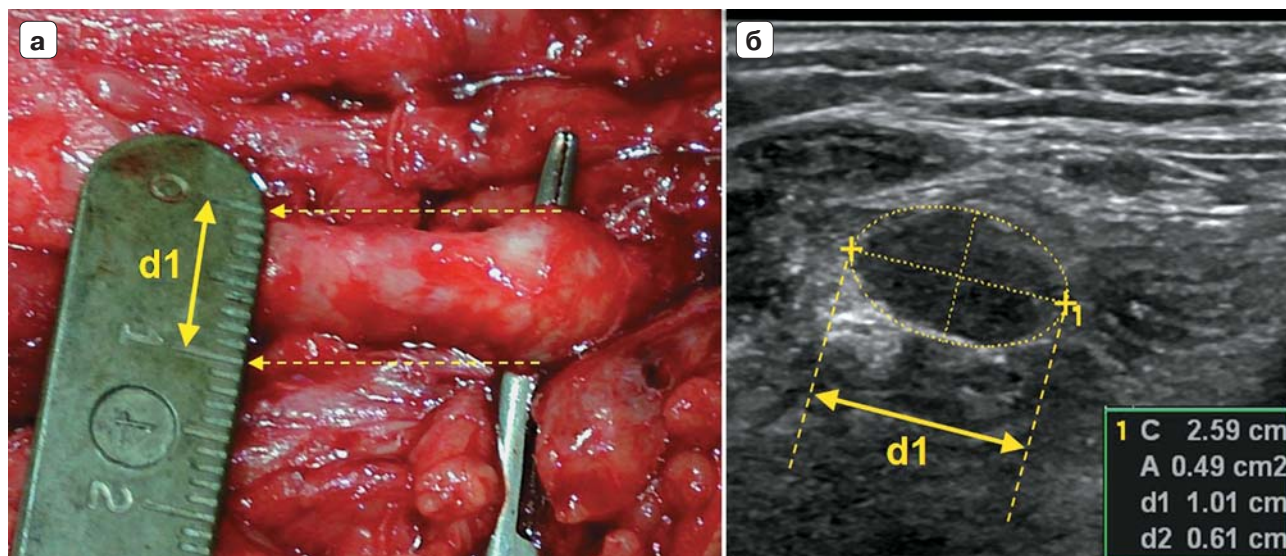


Рис. 2. Измерение нерва в ране (а) и на ультразвуковом изображении (б) с определением максимального диаметра поперечного сечения (d_1).

Материал и методы

В исследование включили 66 пациентов (женщин – 36 (55%), мужчин – 30 (45%) в возрасте от 10 до 85 лет (средний возраст $47,8 \pm 0,1$ года). Исследовали 71 периферический нерв (28 срединных, 28 локтевых, 6 лучевых, 4 малоберцовых, 2 большеберцовых, 2 седалищных, 1 переднюю ветвь спинномозгового нерва C5). Всем пациентам выполнили УЗИ с оценкой максимального и минимального диаметров поперечного сечения нерва на различных, предварительно регламентированных уровнях ($n = 66$, число измерений 273). Для верификации данных УЗИ использовали результаты стандартного интраоперационного измерения нерва [21, 22] ($n = 15$, число измерений 35) и результаты измерений, полученные при МРТ ($n = 20$, число измерений 144). Для оценки степени зависимости УЗИ от оператора предложили двум независимым исследователям оценить размер нерва на одной и той же серии УЗ-изображений ($n = 31$, число измерений 94).

УЗИ проводили на сканере LOGIQ E9 (GE) линейным датчиком с частотой сканирования 11–15 МГц, МРТ – на аппарате с индукцией поля 1,5 Тл (GE). Размеры нерва при УЗИ и МРТ измеряли с помощью встроенного программного обеспечения сканеров. Интраоперационные измерения проводили с помощью стерильных линейки и штангенциркуля.

В исследование по сопоставлению *интраоперационных и УЗ-измерений* включили пациентов с полным разрывом нервного ствола. Измеряли максимальный диаметр поперечного сечения проксимальной и дистальной культей нерва в месте

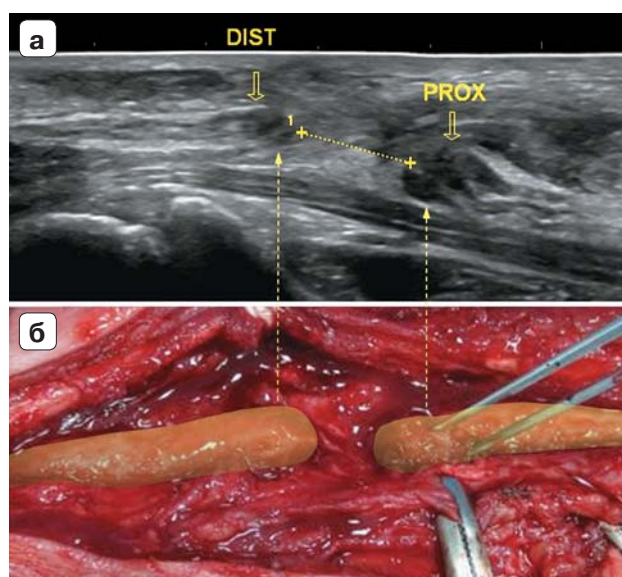


Рис. 3. Измерение диастаза при полном анатомическом перерыве срединного нерва на УЗ-изображении (а) и в ране (б). Проксимальная культя (PROX), дистальная культя (DIST).

наибольшего утолщения (рис. 2) и величину диастаза (рис. 3).

В исследовании по сопоставлению *УЗ- и МРТ-измерений* оценивали максимальный и минимальный диаметры поперечного сечения нерва (рис. 4). Для получения МРТ срезов нерва, точно повторяющих срезы при УЗИ, уровень сканирования предварительно регламентировали, определяя его по стандартным костным ориентирам:

- срединный нерв – гороховидная кость, крючковидная кость;

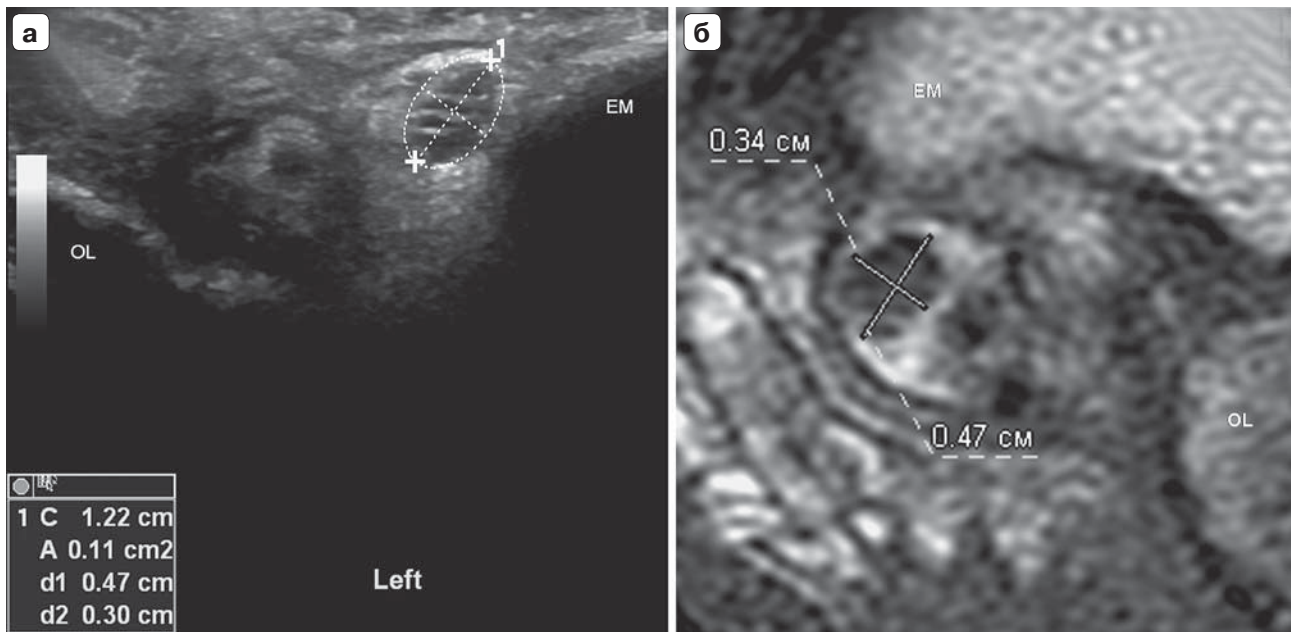


Рис. 4. Измерение локтевого нерва на УЗ-изображении (а) и на МР-изображении (б) с определением максимального (d1) и минимального (d2) диаметров поперечного сечения на уровне медиального надмыщелка плечевой кости (EM) и олекранона (OL).

- локтевой нерв – медиальный надмыщелок плечевой кости, суставная щель локтевого сустава, гороховидная кость;
- лучевой нерв – спиральная борозда, латеральный надмыщелок плечевой кости, головка лучевой кости;
- малоберцовый нерв – мыщелки бедренной кости, головка малоберцовой кости;
- большеберцовый нерв – мыщелки бедренной кости, медиальная лодыжка.

В исследовании по сопоставлению *УЗ-измерений, выполненных двумя независимыми операторами*, измеряли максимальный и минимальный диаметры и площадь поперечного сечения нерва.

Оценку согласованности показателей проводили с помощью корреляционного анализа. Рассчитывали коэффициенты линейной корреляции Пирсона и коэффициенты ранговой корреляции Спирмена. Для сравнения связанных выборок, которыми являются одни и те же показатели, измеренные разными способами, использовали критерии знаков Вилкоксона. Полученные количественные данные обрабатывали с помощью системы Statistica for Windows (версия 10. Лиц. ВХХR310F964808FA-V).

Результаты и их обсуждение

При сопоставлении результатов УЗИ с другими методами получили очень высокие коэффициенты линейной корреляции Пирсона, которые показывают согласованность между конкретными пара-

ми значений. Значения коэффициентов линейной корреляции совпадали со значениями коэффициентов ранговой корреляции Спирмена, что подтверждает полученные высокие зависимости (рис. 5). При этом относительная величина расхождения и в среднем, и по медиане не превышает 5% и варьирует в пределах от нуля до 4,9% (таблица, рис. 6).

При сопоставлении *интраоперационных и УЗ-измерений* коэффициенты линейной корреляции Пирсона и ранговой корреляции Спирмена составили соответственно +0,97 и +0,95. Результаты, полученные при непосредственном измерении нерва в ране, были стабильно больше соответствующих им измерений при УЗИ (среднее +3,9%, медиана +2,9%), 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 [23–25] предполагает исключение наружного гиперэхогенного ободка (наружного эпиневирия) и измерение только отчетливо дифференцируемого гипозэхогенного тяжа, соответствующего близко расположенным пучкам нервных волокон (рис. 7). Интраоперационно нерв измеряли вместе с внешней оболочкой. Стабильность полученного расхождения, а также очень высокий уровень корреляции подтверждают точность УЗ-измере-

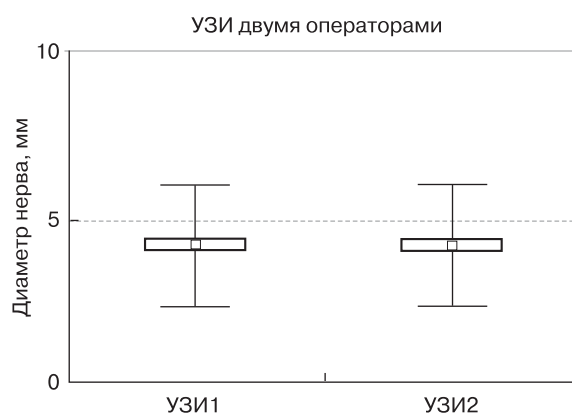
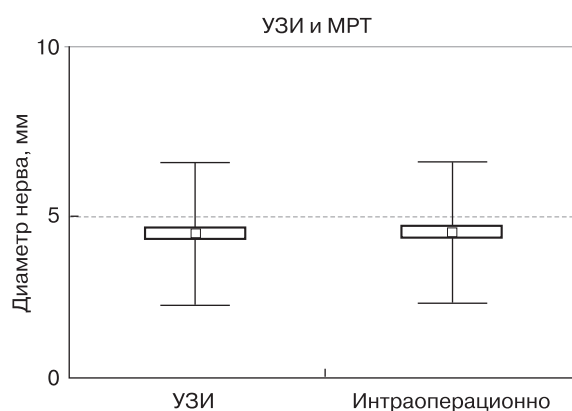
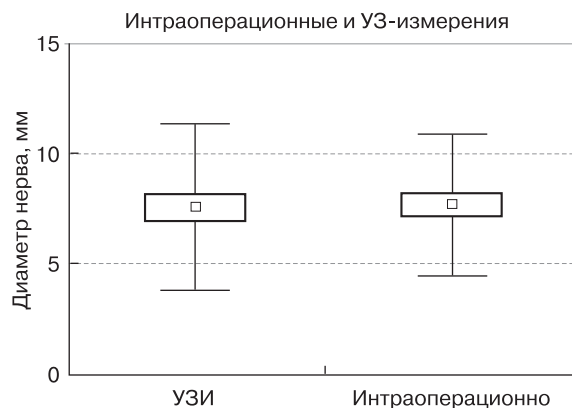
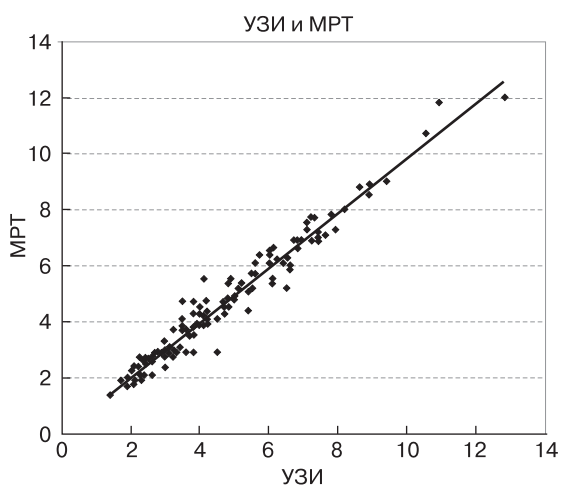
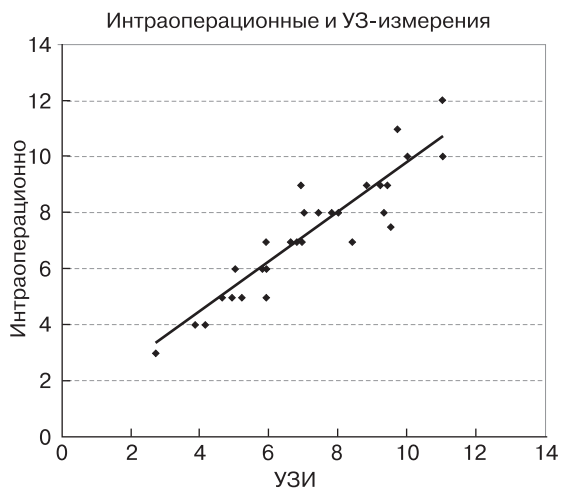
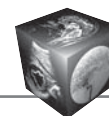
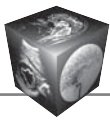


Рис. 5. Сопоставления измерений диаметра поперечного сечения нерва (в мм) различными методами (интраоперационно, УЗИ, МРТ).

Рис. 6. Сопоставления измерений диаметра поперечного сечения нерва различными методами (интраоперационно, УЗИ, МРТ).



Сопоставление измерений диаметра поперечного сечения нерва различными методами

Измерения	УЗИ	ИО*	Δ%	УЗИ	MPT	Δ%	УЗИ1	УЗИ2	Δ%
Наблюдений		35			144			94	
Среднее	7,6	7,7	3,9	4,4	4,5	2,2	4,1	4,1	0,6
Медиана	6,8	7,0	2,9	4,0	4,0	2,1	3,5	3,7	0,0
Минимум	2,7	3,0	-21,1	1,4	1,5	-33,3	1,5	1,7	-13,0
Максимум	22,0	20,0	30,4	12,8	12,1	37,1	10,0	10,0	13,7
Нижний квартиль	5,2	6,0	-2,2	2,7	2,8	-4,8	2,6	2,6	-2,9
Верхний квартиль	8,8	9,0	11,1	5,9	5,8	8,6	5,7	5,6	3,2
Стандартное отклонение	3,8	3,2	11,4	2,1	2,1	10,3	1,8	1,8	5,1
Стандартная ошибка	0,6	0,5	1,9	0,2	0,2	0,9	0,2	0,2	0,5
Коэффициент Пирсона ($p < 0,001$)		0,97			0,98			0,99	
Коэффициент Спирмена ($p < 0,001$)		0,95			0,97			0,99	
Тест Вилкоксона		0,09			0,14			0,50	

*ИО – интраоперационные измерения.

ний. Кроме того, практическое значение имеет не столько определение истинного размера нерва, сколько возможность разделения нормы и патологии при оценке изменения его толщины.

При сопоставлении *УЗ- и MPT-измерений* коэффициенты линейной корреляции Пирсона и ранговой корреляции Спирмена составили соответственно +0,98 и +0,97. Измерение нерва при MPT проводили вместе с внешней оболочкой, поэтому полученные результаты также стабильно превышали УЗ-данные (среднее +2,2%, медиана +2,1%).

При сопоставлении *УЗ-измерений, выполненных двумя независимыми операторами*, коэффициенты линейной корреляции Пирсона и ранговой корреляции Спирмена достигли +0,99, что под-

тверждает очень высокий уровень воспроизводимости результатов.

Данные, полученные нами при сопоставлении измерений нервов *in vivo* методами УЗ- и прямой интраоперационной визуализации, дополняют аналогичные работы, выполненные *in vitro* [11, 12] и на трупах [9, 10]. Кроме того, в единичных на сегодняшний день исследованиях *in vivo* основное внимание уделяется УЗ-оценке протяженности диастаза и длины невромы в проксимальной культе нерва при планировании нейрорафии [26]. В данных работах авторы указывают на высокий уровень точности УЗ-измерений, подтвержденный интраоперационно. Однако УЗ-оценка продольных размеров, необходимая при описании полного разрыва нерва, недостаточна при диагностике невропа-

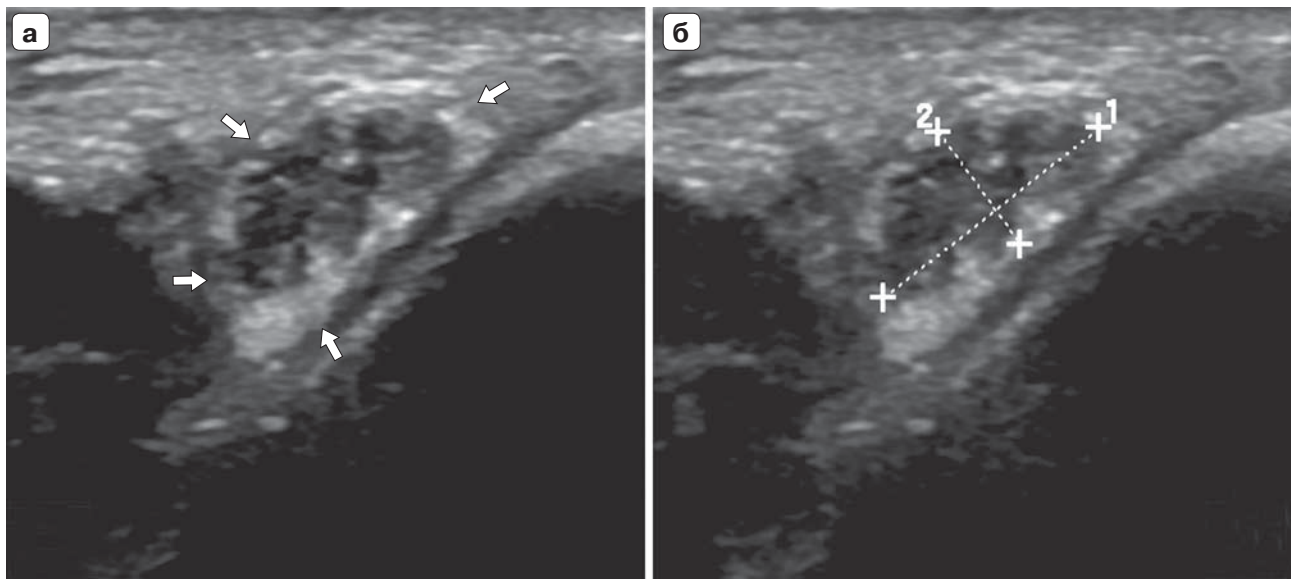


Рис. 7. Гиперэхогенные наружная оболочка и периневральная клетчатка (стрелки) при поперечном УЗ-сканировании локтевого нерва (а). Измерение гипоехогенной части поперечного среза локтевого нерва, соответствующей пучкам нервных волокон (б).



тий, проявляющихся утолщением нервного ствола [27]. В этих случаях более важным является измерение поперечных размеров: толщины, ширины и площади поперечного сечения [28]. Результаты нашего исследования позволяют восполнить существующий пробел в обосновании методики УЗ-визуализации периферических нервов.

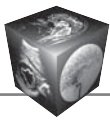
При сопоставлении УЗ- и МРТ-измерений, а также УЗ-измерений нерва, выполненных двумя независимыми операторами, полученные нами данные подтверждают результаты предыдущих исследований [17, 20, 29], незначительно отличаться по величине относительного расхождения.

Заключение

При УЗИ возможно высокоточное измерение периферических нервов, что подтверждается результатами сопоставлений *in vivo* сонографических, интраоперационных и МРТ данных. Размер нерва, определяемый при УЗИ, стабильно меньше, чем при непосредственном измерении в ране и при МРТ. При этом величина отличия незначительна, и ею можно пренебречь в рутинном исследовании. Зависимость результатов УЗИ от оператора компенсируется высоким уровнем воспроизводимости при соблюдении общепринятой методики измерения нерва.

Список литературы / References

1. Luchetti R., Amadio P. Carpal tunnel syndrome. Berlin; Heidelberg: Springer Verlag, 2002; 83. 392 p.
2. Aroori S., Spence R.A.J. Carpal Tunnel Syndrome: A Review of the Recent Literature. *Ulster Med. J.* 2008; 77 (1): 6–17.
3. Ibrahim I., Khan W.S., Goddard N. et al. Carpal Tunnel Syndrome: A Review of the Recent Literature. *Open Orthopaed. J.* 2012; 6 (Suppl. 1: M8): 69–76.
4. Jablecki C.K., Andary M.T., Floeter M.K. et al. 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. *Neurology.* 2002; 58 (11): 1589–1592.
5. Martinoli C., Bianchi S., Gandolfo N. et al. US of nerve entrapments in osteofibrous tunnels of the upper and lower limbs. *RadioGraphics.* 2000; 20 (October Special Issue): 199–217.
6. Cudlip S.A., Howe F.A., Clifton A. et al. Magnetic resonance neurography studies of the median nerve before and after carpal tunnel decompression. *J. Neurosurg.* 2002; 96 (6): 1046–1051.
7. Peer S., Bodner G. High Resolution Sonography of the Peripheral Nervous System. Berlin; Heidelberg: Springer Verlag, 2008; 3–165.
8. Campagna R., Pessis E., Feydy A. et al. MRI assessment of recurrent carpal tunnel syndrome after open surgical release of the median nerve. *AJR.* 2009; 193 (3): 644–650.
9. Fornage B.D. Peripheral nerves of the extremities imaging with US. *Radiology.* 1988; 167 (1): 179–182.
10. Peer S., Kovacs P., Harpf C. et al. High-resolution sonography of lower extremity peripheral nerves: anatomic correlation and spectrum of disease. *J. Ultrasound Med.* 2002; 21 (3): 315–322.
11. Graif M., Seton A., Nerubai J. et al. Sciatic nerve: sonographic evaluation and anatomic-pathologic considerations. *Radiology.* 1991; 181 (2): 405–408.
12. Silvestri E., Martinoli C., Derchi L.E. et al. Echotexture of peripheral nerves: correlation between US and histologic findings and criteria to differentiate tendons. *Radiology.* 1995; 197 (1): 291–296.
13. Hogan Q.H. Lumbar epidural anatomy. A new look by cryomicrotome section. *Anesthesiology.* 1991; 75 (5): 767–775.
14. Bruhn J., Moayeri N., Groen G.J. et al. 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. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 2009; 53 (7): 921–925.
15. van Geffen G.J., Moayeri N., Bruhn J. et al. Correlation between ultrasound imaging, cross-sectional anatomy, and histology of the brachial plexus: a review. *Reg. Anesth. Pain. Med.* 2009; 34 (5): 490–497.
16. Moayeri N., van Geffen G.J., Bruhn J. et al. Correlation among ultrasound, cross-sectional anatomy, and histology of the sciatic nerve: a review. *Reg. Anesth. Pain. Med.* 2010; 35 (5): 442–449.
17. Buchberger W., Judmaier W., Birbamer G. et al. Carpal tunnel syndrome: diagnosis with high-resolution sonography. *AJR.* 1992; 159 (4): 793–798.
18. Solbiati L., De Pra L., Ierace T. et al. High-resolution sonography of the recurrent laryngeal nerve: anatomic and pathologic considerations. *AJR.* 1985; 145 (5): 989–993.
19. Buchberger W., Judmaier W., Birbamer G. et al. The role of sonography and MR tomography in the diagnosis and therapeutic control of the carpal tunnel syndrome. *Rofo.* 1993; 159 (2): 138–143.
20. Zaidman C.M., Seelig M.J., Baker J.C. et al. Detection of peripheral nerve pathology: comparison of ultrasound and MRI. *Neurology.* 2013; 80 (18): 1634–1640.
21. Волкова А.М. Хирургия кисти. В 3-х томах. Т.1: Хирургия сухожилий и нервов кисти. Екатеринбург: Средне-Уральское книжное издательство, 1991. 300 с. Volkova A.M. Hand surgery. In 3 volumes. Vol.1: Surgery tendons and nerves of the hand. Yekaterinburg: Average Ural Publishing House, 1991. 300 p. (In Russian)
22. Коновалов А.Н., Лихтерман Л.Б., Потапов А.А. Нейротравматология: Справочник. 2-е изд. Ростов-на-Дону: Феникс, 1999. 576 с. Konovalov A.N., Lihterman L.B., Potapov A.A. Neurotraumatology. Handbook. 2nd edition. Rostov-na-Donu: Feniks, 1999. 576 p. (In Russian)
23. Okamoto M., Abe M., Shirai H. et al. Morphology and dynamics of the ulnar nerve in the cubital tunnel: observation by ultrasonography. *J. Hand. Surg. Br.* 2000; 25 (1): 85–89.
24. Jacob D., Creteur V., Courthaliac C. et al. Sonoanatomy of the ulnar nerve in the cubital tunnel: a multicentre study by the GEL. *Eur. Radiol.* 2004; 14 (10): 1770–1773.
25. Thoires K., Williams M. A., Phillips M.J. Ultrasonographic measurements of the ulnar nerve at the elbow Role of Confounders. *Ultrasound Med.* 2008; 27 (5): 737–743.



26. Чуловская И.Г., Скорогляднов А.В., Еськин Н.А. и др. Использование эхографии при восстановительном лечении больных с повреждениями периферических нервов предплечья. *Лечебное дело*. 2007; 1: 75–80.
Chulovskaya I.G., Skoroglyadov A.V., Eskin N.A. et al. The use of ultrasound in rehabilitation treatment of patients with injuries of peripheral nerves of the forearm. *Lechebnoe delo*. 2007; 1: 75–80. (In Russian)
27. Мументалер М., Штёр М., Мюллер-Фаль Г. Поражения периферических нервов и корешковые синдромы: Пер. с нем.; Под общей ред. А.Н. Баринаова. М.: МЕДпресс-информ, 2013. 616 с.
Mumentaler M., Shtyor M., Myuller-Fal' G. Lesions of peripheral nerves and radicular syndromes. Trans. ger. Ed. A.N. Barinova. M.: MEDpress-inform, 2013. 616 p. (In Russian)
28. Малецкий Э.Ю., Александров Н.Ю. Ицкович И.Э. и др. Изменение площади поперечного сечения срединного нерва на различных стадиях синдрома запястного канала. *Медицинская визуализация*. 2014; 1: 102–109.
Maletskiy E.Yu., Alexandrov N.Yu., Itskovich I.E. et al. Cross sectional area change of the median nerve at different stages of carpal tunnel syndrome. *Meditsinskaya vizualizatsiya*. 2014; 1: 102–109. (In Russian)
29. Салтыкова В.Г. Ультразвуковая диагностика состояния периферических нервов (норма, повреждения, заболевания): Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 2011. 49 с.
Saltykova V.G. Ultrasound diagnosis of the state of peripheral nerves (norm, damage, illness): Avtoref. dis. ... doct. med. nauk. M., 2011. 49 p. (In Russian)