

ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩАЯ УЛЬТРАСОНОГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ И ХИРУРГИИ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ НЕРВОВ КОНЕЧНОСТЕЙ (обзор литературы)

Ш.М. Айтемиров, В.Г. Нинель, Г.А. Коршунова, И.Н. Щаницын

ФГБУ «Саратовский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии» Минздрава России, ул. Чернышевского, д. 148, г. Саратов, Россия, 410002

Реферат

Диагностика поражений периферических нервов основывается на данных клинического и инструментального обследований, электрофизиологического исследования и магнитно-резонансной томографии. Возможности этих методов зачастую ограничены, а стоимость высока. Ультрасонография является удобным, чувствительным и относительно недорогим методом, который, однако, до сих пор не получил широкого распространения в России. В настоящее время все большее число публикаций посвящено роли ультрасонографии в диагностике и хирургическом лечении травм заболеваний периферической нервной системы. В обзоре представлены данные о применении предоперационной и интраоперационной ультрасонографии при поражении периферических нервов.

Ключевые слова: повреждения периферических нервов, ультразвуковое исследование.

Повреждения периферических нервов конечностей составляют 3–5% среди всех травм опорно-двигательного аппарата [32, 52]. Нервы верхних конечностей повреждаются в 81% случаев, нижних конечностей – в 11%, другой локализации – в 8% [5]. По данным литературы, у 3% пострадавших повреждения периферических нервов верхних и/или нижних конечностей возникают на фоне политравмы и нередко сочетаются с травмой сосудов, сухожилий, суставов и костей [44]. Такие пациенты долгое время не в состоянии вернуться к работе и нуждаются в проведении реабилитационного лечения, а в 60–63% случаев они становятся инвалидами 2–3 группы и вынуждены оставить либо сменить вид прежней трудовой деятельности [3].

Причинами повреждения периферической нервной системы, как свидетельствуют недавние исследования, являются травма – 87%, хирургические вмешательства – 12%, анестезиологические пособия – 0,3–1,5 % и туннельные синдромы [11, 21, 42, 51]. Закрытые травматические поражения невралных стволов возникают в результате чрезмерной тракции и сдавления ствола нерва (фрагментом кости, инородным телом, гематомой и др.), а также при компрессионной ишемии конечности после длительного сдавления кровоостанавливаю-

щим жгутом, вследствие неправильно наложенной циркулярной гипсовой повязки, во время позиционного пережатия сосудисто-нервного пучка и, наконец, могут быть следствием так называемого «краш-синдрома». Открытые повреждения периферических нервов наблюдаются при ранении острыми предметами (стекло, нож, бритва и др.), а также при огнестрельных ранениях конечностей (пулевые, осколочные, минно-взрывные и др.). Для последних, кроме мощной механической энергии, характерно воздействие высокой температуры, возникающей в результате взрывов во время терактов и в период военных действий [52].

Большинство пациентов с вышеуказанными повреждениями стволов периферических нервов конечностей нуждаются в хирургическом пособии, но выполнение его нередко откладывается на неопределённые сроки из-за тяжести состояния пострадавшего в результате политравмы, когда необходимо проведение реабилитационных мероприятий и хирургических вмешательств по жизненным показаниям. При открытых травмах нервных стволов (особенно огнестрельных ранениях конечностей), сочетающихся с повреждением магистральных сосудов, мышц, сухожилий и переломами костей, пациенты нуждаются в первичной хирургической обработке раны, остановке кровотечения,

Айтемиров Ш.М., Нинель В.Г., Коршунова Г.А., Щаницын И.Н. Высокоразрешающая ультрасонография в диагностике и хирургии периферических нервов конечностей (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2015; (3):116-125.

Айтемиров Шамиль Малачиляевич. Ул. Чернышевского, д. 148, г. Саратов, Россия, 410002; e-mail: drkbru@mail.ru

Рукопись поступила: 08.06.2015; принята в печать: 30.06.2015

которые выполняются хирургами общего профиля либо травматологами, а к нейрохирургам этот пациент в лучшем случае попадает после заживления раны [11, 36].

У пострадавших с закрытой травмой стволов периферических нервов достоверно судить о степени поражения нерва по клиническим и электрофизиологическим данным чрезвычайно сложно, поэтому ряд авторов предлагают осуществлять консервативную терапию, которая нередко, особенно у детей, даёт положительные результаты. По их мнению, к хирургическому лечению необходимо приступать при отсутствии признаков проводимости по данным электронейромиографического (ЭНМГ) обследования через 3–4 месяца, что указывает на невозможность адекватной регенерации нерва [47, 57].

Сторонники активной хирургической тактики отстаивают целесообразность ранних вмешательств с использованием операционного микроскопа и микрохирургической техники. По мнению Н. Millesi с соавторами, в анатомически сохранном стволе нерва большая часть аксонов может быть повреждена, что приводит к рубцовому перерождению этого участка нерва и серьёзным тактическим проблемам. Длительное отсутствие двигательной активности, а часто и симпатической иннервации, приводит к быстро развивающимся в мышцах процессам рубцового перерождения и атрофии [43].

Существующие современные методы хирургического лечения травматических поражений периферических нервов с применением микрохирургической техники не позволяют полностью решить эту проблему. Так, по данным некоторых авторов, эффективность оперативных вмешательств на периферических нервах составляет от 36 до 98% в зависимости от типа повреждения и характера оперативного пособия [7, 17, 20].

Повышение эффективности хирургического лечения поражений периферических нервов напрямую зависит от качества и средств пред- и интраоперационной диагностики. Ни для кого не секрет, что неполноценное обследование пострадавших на начальном этапе отрицательно сказывается на лечебной тактике, характере оперативных вмешательств и дальнейшей реабилитации. Поэтому повышение качества диагностики представляется чрезвычайно актуальной проблемой [6].

С этой целью, помимо клинично-неврологического обследования, которое позволяет выявить механизмы повреждения и степень тяжести поражения нервов, применяется большой арсенал дополнительных современных инструментальных методов исследования: элетронеиомио-

графия (ЭНМГ) с регистрацией соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП), лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ), ультразвуковое исследование (УЗИ), магнитно-резонансная томография (МРТ), рентгеновская контрастная нейрография (РКН) и компьютерная томография (КТ). Однако в настоящее время, наряду с ЭНМГ и ЛДФ, особое значение для визуализации нервных структур имеют МРТ, КТ, РКН и УЗИ [4, 6, 9].

Перед планированием хирургического вмешательства необходимо точно определить уровень, характер и степень тяжести травматического поражения нервных стволов. В этом плане конкурируют между собой ЭНМГ, МРТ и УЗИ. Как уже было отмечено раньше, ЭНМГ позволяет определить только степень нарушения проведения по нервному стволу и уровень его повреждения. Данное исследование не позволяет судить о характере и протяжённости ствольных изменений. Кроме того, некоторые авторы отмечают отсутствие корреляции между результатами ЭНМГ и клиническими данными. Нередко при незначительном восстановлении проводимости могут регистрироваться практически нормальные показатели электронейромиографии. Помимо этого ЭНМГ исследование не в состоянии диагностировать неврому, оценить состояние окружающих тканей и наличие инородных тел [2, 39]. В этой связи предоперационное обследование должно дополняться методами нейровизуализации, например, МРТ или УЗИ.

Большинство рентгенологов и клиницистов предпочитают использовать МРТ для визуализации повреждённых стволов периферических нервов. Однако исследование методом МРТ имеет ряд существенных недостатков, основным из которых является незначительное различие при визуализации между стволом нерва и окружающими тканями. Кроме того, данный метод не позволяет исследовать внутриствольную структуру нерва и небольшие изменения ствола нерва (частичный перерыв, повреждение контура). При МРТ затруднительно достоверно детализировать небольшие структурные изменения, что не позволяет исследовать процессы восстановления нерва [15, 54]. При МРТ нервы малого диаметра практически не дифференцируются от других тканей, но достаточно хорошо визуализируются нервы большого диаметра, окружённые жировой прослойкой [27]. Несмотря на высокую контрастность мягких тканей и возможность оценки объекта в разных плоскостях, МРТ в диагностике периферических нервов остаётся менее предпочтительным методом обследования по сравнению с УЗИ [45].

В настоящее время развитие электронно-цифровых технологий позволило создать высокоразрешающие ультразвуковые аппараты, которые обладают рядом существенных преимуществ перед другими диагностическими устройствами. Во-первых, они обеспечивают качественное динамическое изображение в пространстве. Во-вторых, УЗИ является неинвазивным интер-активным методом, позволяющим проводить исследования в зоне локализации боли и повышенной чувствительности, а также в области предполагаемого повреждения. В-третьих, при УЗИ возможно выполнение функциональных проб и изучение структурных изменений в динамике. Наконец, во время ультразвукового

исследования отсутствуют отрицательные моменты, связанные с необходимостью находиться в замкнутом пространстве, как при МРТ, а также испытывать болезненные ощущения, присущие инвазивным методам диагностики [25].

Наряду с созданием и совершенствованием аппаратуры, к настоящему моменту в отечественных и зарубежных работах достаточно подробно описана эхогенная структура в норме и при различной патологии стволов плечевого сплетения и периферических нервов конечностей. Ультразвуковые критерии повреждения периферических нервов представлены в таблице, составленной по данным различных авторов [13, 15, 19, 38].

Таблица

Ультразвуковые критерии повреждения периферического нерва

Патология	Ультразвуковые критерии
Норма	Типичная картина в виде пчелиных сот. Нет расположенных эпи- и интраневрально гиперэхогенных зон. Нет изменений диаметра нерва
Полный разрыв нерва	Полный перерыв нервного ствола и диастаз между культями нерва. Дистрофические изменения дистального фрагмента нерва в виде нечёткости контура и уменьшения диаметра. Наличие утолщения (неврома) на проксимальном конце культы повреждённого нерва
Частичный разрыв нерва	Локальное уменьшение диаметра нерва с нарушением его наружной оболочки, неровностью и нечёткостью контура. Снижение эхогенности ткани нерва и нарушение внутренней дифференцировки. Изменение формы нервного ствола по типу «песочных часов»
Неврома	Локальное увеличение диаметра нерва: гипозоногенное, исходящее из проксимальной культы нервного ствола с отсутствием внутренней дифференцировки на пучки (потеря сотовой структуры) (краевая неврома); гипозоногенное веретенообразное внутривольное утолщение нерва (интраневральная неврома)
Тракционное повреждение	Резкое снижение эхогенности нервного ствола, утолщение ствола нерва на протяжённом участке. Неровные наружные контуры, диффузно неоднородная внутренняя структура нерва без чёткой внутренней дифференцировки на пучки с сохранённой наружной оболочкой нерва
Дегенеративные изменения (Валлеровская дегенерация)	Увеличение диаметра нерва с одновременным повышением эхогенности ствола и уменьшением количества гипозоногенных интраневральных пучков
Компрессионная нейропатия	Локальное уменьшение толщины и диаметра нерва в месте компрессии. Пониженная эхогенность нерва перед местом компрессии с потерей внутреннего многопучкового строения как непосредственно перед компрессией, так и на уровне компрессии. Наружный контур нерва неровный, утолщённый, гиперэхогенный. Умеренное усиление интраневральной васкуляризации проксимальнее места компрессии
Эпинеуральный фиброз	Типичная картина в виде пчелиных сот. Повышение эхогенности окружающих нерв тканей без существенных изменений диаметра нерва
Интраневральные фиброзы	Заметное увеличение гиперэхогенных участков внутри нерва, окружающих гипозоногенные нервные пучки. Нет существенных изменений диаметра нерва

Как свидетельствует данные таблицы, эхогенная структура ствола нерва вполне соответствует той патологической ситуации, которая возникает при поражении периферической нервной системы. В этой связи многие исследователи провели сопоставление между ультразвуковым изображением различных стволов периферических нервов в поперечном сечении и гистоморфологической картиной [12, 32].

Известно, что основной единицей периферических нервов является нервное волокно, окружённое эндоневрием. Поскольку эндоневрий слишком тонкий, чтобы отражать ультразвуковой луч, при УЗИ высокого разрешения он выглядит гипоэхогенным. Нервный пучок состоит из нескольких волокон и окружён периневрием. Он состоит из соединительной ткани, сосудов и лимфатических протоков и достаточно плотный, чтобы отражать ультразвук, в результате чего периневрий является гиперэхогенным. Ствол периферического нерва состоит из нескольких нервных пучков и окружён толстой оболочкой – эпиневрием, который при УЗИ отображается как толстые эхогенные линии [46].

В 1995 г. E. Silvestri с соавторами сообщили о явной корреляции ультразвукового и гистологического изображений седалищного нерва [53]. Гистологическое исследование показало, что гипоэхогенные области окружены гиперэхогенными линиями, что соответствует нервным пучкам. При УЗ обследовании периферический нерв визуализируется в продольном срезе как несколько параллельных гиперэхогенных линий между двумя толстыми эхогенными линиями, а в поперечном срезе представлен в виде сот и представляет собой круглые гипоэхогенные области, окруженные эхогенными округлыми линиями, что позволяют легко отличить нерв от окружающих гипоэхогенных мышц [47, 55].

Таким образом, периферические нервы в ультразвуковом отображении занимают промежуточное положение между относительно низкой эхогенностью мышц и более высокой эхогенностью сухожилий.

Данные отечественной и зарубежной литературы свидетельствуют, что по техническим параметрам и методическим подходам УЗИ позволяет диагностировать различную патологию центральной и периферической нервной системы. Ещё в 1988 г. В. Fognage опубликовал доклад о целесообразности ультразвукового исследования при патологии периферических нервов [29]. С тех пор разные исследователи подтвердили высокий потенциал УЗИ для визуализации в нейротравматологии, онкологии, при

травматической и компрессионной нейропатии, при этом УЗИ оказалось надёжным, практичным и легко доступным предоперационным методом диагностики [30, 48].

Предоперационное планирование при травме и различной патологии периферической нервной системы является важным и чрезвычайно ответственным этапом хирургического лечения таких пострадавших. Определение изменений в структуре нерва и локализации перерыва помогает в выборе наиболее подходящей тактики лечения, что позволяет улучшить результаты [23].

Технические возможности высокоразрешающей УЗИ позволяют установить характер повреждения нерва: полный и/или неполный перерыв нерва, отёк аксонов, наличие рубцового процесса (фиброза), гематомы и инородного тела, а также наличие невриомы [56]. Так, по данным R. Renpa с соавторами [49], с помощью УЗИ можно выявить невриомы нервов малого диаметра, а, по мнению С. Cokluk и К. Aydin, изображение невриомы можно получить даже при исследовании тонких терминальных ветвей верхних и нижних конечностей [26].

УЗИ позволяет выявить различные (до- и постганглионарные) повреждения стволов плечевого сплетения, в том числе и у детей [38, 46]. J.R. Joseph с соавторами описали методику УЗ диагностики повреждений плечевого сплетения в неонатальном периоде после акушерских пособий во время родовспоможения [35].

Ультразвуковое исследование даёт возможность определить характер травмы невралических стволов при переломах трубчатых костей и повреждении суставов: перерыв либо сдавление их костными отломками и вовлечение нерва в костную мозоль [13, 18, 22].

С помощью УЗИ возможно не только диагностировать опухоли ствола нерва, цветная доплерография позволяет дифференцировать их доброкачественный либо злокачественный характер, что, безусловно, отражается на тактике хирургического лечения и дальнейшем ведении этих пациентов [31].

Неоценимую помощь УЗИ оказывает в оценке множественных и многоуровневых поражений нервов, а также в случаях невозможности по каким-либо причинам проведения электрофизиологических методов исследования. В ряде случаев УЗИ является весьма эффективным методом при диагностике синдрома запястного канала и поражении мягких тканей кисти [59].

И.Г. Чуловская впервые представила способ определения размеров дефекта нервного ствола при его повреждении с помощью высокоразрешающего УЗИ, дополнила ультрасонографи-

ческую семиотику патологии мягких тканей кисти и предплечья, а также предложила методику ультразвукового мониторинга процесса регенерации сухожилий в послеоперационном периоде, которая заключается в изучении ультразвуковой характеристики процесса регенерации сухожильной ткани. В зависимости от совпадения либо несовпадения плотности регенерата с плотностью здорового сухожилия определяют дальнейшую тактику лечения пациентов. В её работе практически впервые сформулированы показания и противопоказания к УЗИ и МРТ при повреждениях и заболеваниях сухожилий и нервов [15, 16].

Таким образом, ультразвуковое исследование является весьма информативным методом исследования при травматических повреждениях стволов плечевого сплетения и периферических нервов конечностей, а также при компрессионных невропатиях и опухолях невралгических стволов, при этом его чувствительность составляет 96,7%, а специфичность – 99,5% [16, 34, 60]. Данный метод способствует ранней диагностике и предоперационному планированию адекватного хирургического лечения у данной категории пациентов.

Ряд авторов сообщают, что расхождение данных дооперационного УЗИ с интраоперационными находками происходит в 6–10% случаев [1, 12, 50]. Эти данные обусловлены различными причинами, а именно: 1) высокочастотный ультразвук сильно рассеивается по мере проникновения в ткани (для 20 МГц глубина проникновения составляет 1,2 см), что ограничивает исследование глубоко расположенных нервов (например, седалищного); 2) рассеяние или поглощение ультразвука из-за посттравматических изменений мягких тканей (периневральный отек, рубцовое изменение тканей или инородные тела) может препятствовать предоперационной оценке и не позволяет получить достоверную информацию [30]. Вышеописанные недостатки полностью устраняются при использовании УЗИ во время операции [58]. В хирургической практике нередко возникает ситуация, особенно при закрытых повреждениях, когда во время ревизии поражённых нервных стволов они оказываются анатомически сохранными, при этом возникают серьёзные диагностические и тактические проблемы, которые сложно разрешить с помощью ЭНМГ-тестирования и контрастной нейрографии [8, 24].

Так, R.W. Koenig с соавторами [38] и F.C. Lee с соавторами [40] практически одновременно опубликовали результаты интраоперационного ультразвукового сканирования и независимо

друг от друга убедительно доказали, что на открытом нерве возможно с большей точностью определить степень внутривольного поражения нерва, более чётко дифференцировать интактные пучки от невромы и достоверно судить о регенеративном потенциале.

По данным исследования F.C. Lee с соавторами, проведенного на 13 пациентах, интраоперационное УЗИ позволяет определить локализацию неврином, оценить степень поражения нерва, ограничить объем диссекции, найти проксимальный отдел лучевого нерва при переломе плечевой кости и, соответственно, выполнить операцию более быстро и менее инвазивно. Кроме того, в работе показано, что использование УЗИ помогает исключить поражение нерва, в то время как другие методы диагностики (клинические, электрофизиологические или МРТ) в ряде случаев этого сделать не позволяют. Во всех случаях УЗИ способствовало установлению правильного диагноза и определению локализаций повреждения: у 7 (58%) из 12 пациентов УЗИ позволило скорректировать диагноз [40].

Интраоперационная ультразвуковая навигация применяется при хирургическом лечении опухолей нервных сплетений и отдельных периферических нервов, что позволяет точно планировать доступ к новообразованию и контролировать радикальность удаления опухоли [10].

Таким образом, анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что ультразвуковая диагностика является чрезвычайно важным инструментом в диагностике и определении тактики лечения при повреждениях периферического нерва. Многочисленные исследования, проведенные при различной патологии периферических нервов, продемонстрировали высокую чувствительность и специфичность метода. Интраоперационное УЗИ высокого разрешения, учитывая дальнейший технический прогресс, обладает большим клиническим потенциалом. Однако необходимы дальнейшие исследования, которые позволят более точно оценить роль ультразвукового исследования при операциях на периферических нервах.

Конфликт интересов: не заявлен.

Литература

1. Асилова С.У., Нуримов Г.К., Рустамова У.М., Назарова Н.З. Ультрасонографическая диагностика при повреждении лучевого нерва. *Травма*. 2010; 11(3): 313-316.
2. Берснев В.П., Давыдов Е.А., Кондаков Е.Н. Хирургия позвоночника, спинного мозга и периферических нервов. СПб.; 1998. 368 с.

3. Берснев В.П., Кокин Г.С., Извекова Т.О. Практическое руководство по хирургии нервов: в 2-х томах. СПб.; 2009. Т. 1. 296 с.
4. Гехт Б.М., Касаткина Л.Ф., Самойлов М.И., Санадзе А.Г. Электромиография в диагностике нервно-мышечных заболеваний. Таганрог; 1997. 369 с.
5. Говенько Ф.С. Некоторые вехи и достижения в хирургии поврежденных нервов. *Неврологический вестник*. 2008; (1):88-92.
6. Голубев В.Г., Косов И.С., Крупаткин А.И., Кхир Бек М. Использование лазерной флоуметрии в диагностике повреждения лучевого нерва. *Травматология жэне ортопедия*. Казахстан. 2005; (2):75-76.
7. Горшков Р.П., Нинель В.Г., Коршунова Г.А., Джумагишиев Д.К. Экспериментальное обоснование прямой длительной электростимуляции при нейротрансплантации периферических нервов. *Экспериментальная биология и медицина*. 2007; (4):470-473.
8. Джумагишиев Д.К., Норкин И.А., Горшков Р.П., Нинель В.Г. Способ и возможности интраоперационного контрастирования нервных стволов в эксперименте. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2007; (1):80-83.
9. Миронов С.П., Матвеева Н.Ю., Еськин Н.А., Огарев Е.В., Приписнова С.Г. Ультразвуковое исследование плечевого сплетения (первый в России опыт 335 визуализаций). *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2008; (4):23-28.
10. Орлов А.Ю., Комков Д.Ю., Даминов Р.Г. Интраоперационная УЗИ-навигация при удалении опухолей периферических нервов. В кн.: Поленовские чтения: матер. всерос. науч.-практ. конф. СПб.; 2010:148-149.
11. Прудников О.Е., Прудников Е.Е., Прудников Д.О. Ятрогенные повреждения вращающей манжеты плеча. *Политравма*. 2007; (4):60-68.
12. Салтыкова В.Г. Методика высокоразрешающего ультразвукового исследования неизменённого лучевого нерва. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2010; (6):82-89.
13. Салтыкова В.Г., Голубев И.О., Меркулов М.В., Шток А.В. Роль ультразвукового исследования при планировании объема пластики периферических нервов. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2012; (4):62-68.
14. Стадников В.В., Нинель В.Г., Лившиц Л.Я., Кузнецова А.С. Хирургическая тактика при травмах нервов и костей верхней конечности. В кн.: Поленовские чтения: матер. всерос. науч.-практ. конф. СПб.; 2005: 132-133.
15. Чуловская И.Г. Ультрасонография периферических нервов предплечья и кисти в норме и при патологии. *Российский медицинский журнал*. 2010; (3):45-47.
16. Чуловская И.Г., Скорогляд А.В., Еськин Н.А., Магдиев Д.А. Ультрасонографическая диагностика заболеваний мягких тканей кисти и предплечья. *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2007; (1):86-88.
17. Шевелев И.Н. Микрохирургия периферических нервов. М.; 2011. 304 с.
18. Шоломов И.И., Киреев С.И., Левченко К.К., Чехонацкий А.А., Шоломова Е.И. Состояние нервно-мышечного аппарата у больных с повреждениями ключицы, костей плечевого пояса и проксимального отдела плеча. *Практическая неврология и нейрореабилитация*. 2008; (3):16-18.
19. Alaqeel A., Alshomer F. High resolution ultrasound in the evaluation and management of traumatic peripheral nerve injuries: review of the literature. *Oman Med. J.* 2014; 29(5):314-319.
20. Barbour J., Yee A., Kahn L.C., Mackinnon S.E. Supercharged end-to-side anterior interosseous to ulnar motor nerve transfer for intrinsic musculature reinnervation. *J Hand Surg Am.* 2012; 37(10):2150-2159.
21. Barrington M.J., Snyder G.L. Neurologic complications of regional anesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2011; 24(5):554-560.
22. Bodner G., Buchberger W., Schocke M., Bale R., Huber B., Harp C. [et al.] Radial nerve palsy associated with humeral shaft fracture: evaluation with US-initial experience. *Radiology.* 2001; 219(3):811-816.
23. Bodner G., Huber B., Schwabegger A., Lutz M., Waldenberger P. Sonographic detection of radial nerve entrapment within a humerus fracture. *J Ultrasound Med.* 1999; 18:703-706.
24. Buchtal G., Kuhl V. Nerve conduction, tactile sensibility and electromyogram after suture of peripheral nerves. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1989; 42:436-451.
25. Chiou H-J., Chou Y-H., Chiou S-Y., Liu J-B., Chang C-Y. Peripheral nerve lesions: role of high-resolution us. *Radiographics.* 2003; 23(6):15.
26. Cokluk C., Aydin K. Ultrasound examination in the surgical treatment of lower extremity peripheral nerve injuries: Part II. *Turk Neurosurg.* 2007; 17(3):197-201.
27. Evans G.R. Peripheral nerve injury: a review and approach to tissue engineered constructs. *Anat Rec.* 2001; 263(4):396-404.
28. Filler A.G., Kliot M., Howe F.A., Hayes C.E., Saunders D.E., Goodkin R. [et al.] Application of magnetic resonance neurography in the evaluation of patients with peripheral nerve pathology. *J Neurosurg.* 1996; 85: 299-309.
29. Fornage B.D. Peripheral nerves of the extremities: imaging with ultrasound. *Radiology.* 1988; 167:179-182.
30. Gofeld M., Bristow J.S., Chiu S., Kliot M. Preoperative ultrasound-guided mapping of peripheral nerves. *J Neurosurg.* 2013; 119(3):709-713.
31. Gruber H., Glodny B., Bendix N., Tzankov A., Peer S. High-resolution ultrasound of peripheral neurogenic tumors. *Eur Radiol.* 2007; 17(11):2880-2888.
32. Guvencer M., Akyer P., Iyem C., Tetik S., Naderi S. Anatomic considerations and the relationship between the piriformis muscle and the sciatic nerve. *Surg Radiol Anat.* 2008; 30:467-74.
33. Haber H.P., Sinis N., Haerle M., Schaller H.E. Sonography of brachial plexus traction injuries. *Am J Roentgenol.* 2006; 186(6):1787-1791.
34. Huang Y., Zhu J., Liu F. Ultrasound in diagnosis of retroperitoneal femoral nerve injury: a case report. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2013; 66(2):50-52.
35. Joseph J.R., DiPietro M.A., Somashekar D., Parmar H.A., Yang L.J.S. Ultrasonography for neonatal brachial plexus palsy. *J. Neurosurg. Pediatrics.* 2014; 14(5):527-531.
36. Kandenwein J.A., Kretschmer T., Engelhardt M., Richter H.P., Antoniadis G. Surgical interventions for traumatic lesions of the brachial plexus: a retrospective study of 134 cases. *J Neurosurg.* 2005; 103(4):614-621.
37. Kline D.G., Hackett E.R., May P.R. Evaluation of nerve injuries by evoked potentials and electromyography. *J Neurosurg.* 1969; 31:128-136.
38. Koenig R.W., Schmidt T.E., Heinen C.P., Wirtz C.R., Kretschmer T., Antoniadis G., Pedro M.T. Intraoperative high-resolution ultrasound: a new technique in the management of peripheral nerve disorders. *J Neurosurg.* 2011; 114(2):514-521.

39. Landau M.E., Barner K.C., Campbell W.W. Effect of body mass index on ulnar nerve conduction velocity, ulnar neuropathy at the elbow. *Muscle Nerve*. 2005; 32(3):360-363.
40. Lee F.C., Singh H., Nazarian L.N., Ratliff J.K. High-resolution ultrasonography in the diagnosis and intraoperative management of peripheral nerve lesions. *J Neurosurg*. 2011; 114(1):206-211.
41. Lee J., Bidwell T., Metcalfe R. Ultrasound in pediatric peripheral nerve injuries: can this affect our surgical decision making? A preliminary report. *J Pediatr Orthop*. 2013; 33(2):152-158.
42. Liguori G.A. Complications of regional anesthesia: Nerve injury and peripheral nerve blockade. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2004; 16:84-86.
43. Millesi H., Rath T., Reihnsner R., Zoch G. Microsurgical neurolysis: its anatomical and physiological basis and its classification. *Microsurgery*. 1993; 14: 430-439.
44. Noble J., Munro C.A., Prasad V.S., Midha R. Analysis of upper and lower extremity peripheral nerve injuries in a population of patients with multiple injuries. *J Trauma*. 1998; 45(1):116-122.
45. Peer S., Bodner G. (eds.) High resolution sonography of the peripheral nervous system: general considerations and technical concept. 2nd Ed. Berlin, Heidelberg: Springer; 2008. 208 p.
46. Peer S., Bodner G., Meirer R., Willeit J., Piza-Katzer H. Examination of postoperative peripheral nerve lesions with high-resolution sonography. *Am J Roentgenol*. 2001; 177(2):415-419.
47. Peer S., Kovacs P., Harpf C., Bodner G. High resolution sonography of lower extremity peripheral nerves: anatomic correlation and spectrum of pathology. *J Ultrasound Med*. 2002; 21:315-322.
48. Pham M., Bäumer T., Bendszus M. Peripheral nerves and plexus: imaging by MR-neurography and high-resolution ultrasound. *Curr Opin Neurol*. 2014; 27(4):370-379.
49. Renna R., Erra C., Almeida V., Padua L. Ultrasound study shows nerve atrophy in post herpetic neuralgia. *Clin Neurol Neurosurg*. 2012; 114(10): 1343-1344.
50. Schelle T. Millimetergenaue Diagnose mit HRUS. *DNP – Der Neurologe und Psychiater*. 2012; 13:59-71.
51. Scholz T., Krichevsky A., Sumarto A., Jaffurs D., Wirth G.A., Paydar K., Evans G. Peripheral nerve injuries: an international survey of current treatments and future perspectives. *J Reconstr Microsurg*. 2009; 25(6): 339-344.
52. Siemionow M., Brzezicki G. Chapter 8: Current techniques and concepts in peripheral nerve repair. *Int Rev Neurobiol*. 2009; 87:141-172.
53. Silvestri E., Martinoli C., Derchi L.E., Bertolotto M., Chiamondia M., Rosenberg I. Echotexture of peripheral nerves: correlation between US and histologic findings and criteria to differentiate tendons. *Radiology*. 1995; 197: 291-296.
54. Solbiati L., De Pra L., Ierace T., Bellotti E., Derchi L.E. High-resolution sonography of the recurrent laryngeal nerve: anatomic and pathologic considerations. *Am J Roentgenol*. 1985; 145(5):989-993.
55. Stuart R.M., Koh E.S.C., Bredahl W.H. Sonography of peripheral nerve pathology. *Am J Roentgenol*. 2004; 182:123-129.
56. Tang P., Wang Y., Zhang L., He C., Liu X. Sonographic evaluation of peripheral nerve injuries following the Wenchuan earthquake. *J Clin Ultrasound*. 2012; 40(1):7-13.
57. Tiel R.L., Happel L.T. Jr, Kline D.G. Nerve action potential recording method and equipment. *Neurosurgery*. 1996; 39: 103-109.
58. Toros T., Karabay N., Ozaksar K., Sugun T.S., Kayalar M., Bal E. Evaluation of peripheral nerves of the upper limb with ultrasonography: a comparison of ultrasonographic examination and the intra-operative findings. *J Bone Joint Surg Br*. 2009; 91(6):762-765.
59. Woo A., Bakri K., Moran S.L. Management of ulnar nerve injuries. *J Hand Surg*. 2015; 40: 173-181.
60. Zhu J., Liu F., Li D., Shao J., Hu B. Preliminary study of the types of traumatic peripheral nerve injuries by ultrasound. *Eur Radiol*. 2011; 21(5): 1097-1101.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Айтмиров Шамиль Малачиляевич – врач-нейрохирург отделения нейрохирургии и вертебрологии ФГБУ «Саратовский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии» Минздрава России

Нинель Вячеслав Григорьевич – д-р мед. наук профессор главный научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии ФГБУ «Саратовский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии» Минздрава России

Коршунова Галина Александровна – канд. мед. наук старший научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии ФГБУ «Саратовский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии» Минздрава России

Щаницын Иван Николаевич – канд. мед. наук младший научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии ФГБУ «Саратовский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии» Минздрава России

HIGH-RESOLUTION ULTRASONOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS AND MANAGEMENT OF PERIPHERAL NERVE LESIONS (review)

Sh.M. Aitemirov, V.G. Ninel, G.A. Korshunova, I.N. Shchanitsyn

Saratov Research Institute of Traumatology and Orthopedics, ul. Chernyshevskogo, 148, Saratov, Russia, 410002

Abstract

The diagnosis of peripheral nerve lesions relies on clinical history, physical examination, electrodiagnostic studies, and radiography. The availability of these methods may be limited, and the costs can be significant. By comparison, ultrasonography is a comfortable, sensitive and economic technology, however, until now it is not widespread in Russia. An increasing number of publications have evaluated the role of ultrasonography in peripheral nerve diseases. The authors explored the clinical applicability of high-resolution ultrasonography in the preoperative and intraoperative management of peripheral nerve lesions.

Key words: peripheral nerve, nerve entrapment, ultrasonography.

Conflict of interest: none.

References

- Asilova SU, Nurimov GK, Rustamova UM, Nazarova NZ. Ul'trasonograficheskaya diagnostika pri povrezhdenii lučevogo nerva [Ultrasonographic diagnosis of radial nerve is damaged]. *Travma* [Injury]. 2010; 11(3):313-316. [in Rus.]
- Bersnev VP, Davydov YeA, Kondakov YeN. Khirurgiya pozvonochnika, spinnogo mozga i perifericheskikh nervov [Spine surgery, spinal cord and peripheral nerves.]. SPb.; 1998. 368 s. [in Rus.]
- Bersnev VP, Kokin GS, Izvekova TO. Prakticheskoye rukovodstvo po khirurgii nervov: v 2-kh tomakh [Guide to nerve surgery: in 2 volumes]. SPb.; 2009. T. 1. 296 s. [in Rus.]
- Gekht BM, Kasatkina LF, Samoylov MI, Sanadze AG. Elektromiografiya v diagnostike nervno-myshechnykh zabolovaniy [Electromyography in the diagnosis of neuromuscular diseases]. Taganrog; 1997. 369 s. [in Rus.]
- Goven'ko FS. Nekotoryye vekhi i dostizheniya v khirurgii povrezhdeniy nervov [Some milestones and achievements in surgery nerve damage]. *Nevrologicheskiy vestnik* [Neurological Gazette]. 2008; (1):88-92. [in Rus.]
- Golubev VG, Kosov IS, Krupatkin AI, Kkhir Bek M. Ispol'zovaniye lazernoy floumetrii v diagnostike povrezhdeniya lučevogo nerva [The use of laser flowmetry in the diagnosis of damage to the radial nerve]. *Travmatologiya zhene ortopediya* [Traumatology and Orthopedics]. Kazakhstan. 2005; (2):75-76. [in Rus.]
- Gorshkov RP, Ninel' VG, Korshunova GA, Dzhumagishiyev DK. Eksperimental'noye obosnovaniye pryamoy dlitel'noy elektrostimulyatsii pri neyrotransplantatsii perifericheskikh nervov [Experimental study of direct electrical stimulation during prolonged neurotransplantation peripheral nerves]. *Eksperimental'naya biologiya i meditsina* [Experimental Biology and medicine]. 2007; (4): 470-473. [in Rus.]
- Dzhumagishiyev DK, Norkin IA, Gorshkov RP, Ninel' VG. Sposob i vozmozhnosti intraoperatsionnogo kontrastirovaniya nervnykh stvolov v eksperimente [The method and the possibility of intraoperative staining nerve trunks in the experiment]. *Saratovskiy nauchno-meditsinskiy zhurnal* [Saratov Journal of Medical Scientific]. 2007; (1):80-83. [in Rus.]
- Mironov SP, Matveyeva NYu, Yes'kin NA, Ogarev YeV, Pripisnova SG. Ul'trazvukovoye issledovaniye plechevogo spleteniya (pervyy v Rossii opyt 335 vizualizatsiy) [Ultrasound examination of the brachial plexus (the first Russian experience of 335 visualizations)]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [Journal of Traumatology and Orthopedics NN Priorov]. 2008; (4):23-28. [in Rus.]
- Orlov AYu, Komkov DYu, Daminov RG. Intraoperatsionnaya UZI-navigatsiya pri udaleniі opukholey perifericheskikh nervov [Intraoperative ultrasound navigation in removing tumors of the peripheral nerves.]. V kn.: Polenovskie chteniya: mater. vseros. nauch.-prakt. konf. [In the book : Polenovskie read: mater. Proc. scientific and practical. Conf. St. Petersburg]. SPb.; 2010:148-149. [in Rus.]
- Prudnikov OYe, Prudnikov YeYe, Prudnikov DO. Yatrogennyye povrezhdeniya vrashchayushchey manzhety plecha [Iatrogenic damage to the rotator cuff]. *Politrauma* [Polytrauma]. 2007; (4):60-68. [in Rus.]
- Saltykova VG. Metodika vysokorazreshayushchego ul'trazvukovogo issledovaniya neizmenonnogo lučevogo nerva [Methods of high-resolution ultrasound unaltered radial nerve]. *Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika* [Ultrasonic and functional diagnostics]. 2010; (6): 82-89. [in Rus.]
- Saltykova VG, Golubev IO, Merkulov MV, Shtok AV. Rol' ul'trazvukovogo issledovaniya pri planirovaniі ob'yema plastiki perifericheskikh nervov [The role of ultrasound in the planning of the volume of plastic peripheral nerves].

Cite as: Aitemirov ShM, Ninel VG, Korshunova GA, Shchanitsyn IN. [High-resolution ultrasonography in the diagnosis and management of peripheral nerve lesions (review)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*. 2015; (3):116-125. [in Russian]

✉ Aitemirov Shamil M. Ul. Chernyshevskogo, 148, Saratov, Russia, 410002; e-mail: drkbru@mail.ru

1 Received: 08.06.2015; Accepted for publication: 30.06.2015

- Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika* [Ultrasonic and functional diagnostics]. 2012; (4):62-68. [in Rus.]
14. Stadnikov VV, Ninel' VG, Livshits LYa., Kuznetsova AS. Khirurgicheskaya taktika pri travmakh nervov i kostey verkhney konechnosti [Surgical tactics in injuries of nerves and bones of the upper limb]. V kn.: Polenovskiy chteniye: mater. vseros. nauch.-prakt. konf [In the book: Polenovskie read: mater. Proc. scientific and practical. Conf.]. SPb.; 2005: 132-133. [in Rus.]
 15. Chulovskaya IG. Ul'trasonografiya perifericheskikh nervov predplech'ya i kisti v norme i pri patologii [Ultrasonography of peripheral nerves in the forearm and hand normal and pathological conditions.]. *Rossiyskiy meditsinskiy zhurnal* [Russian Medical Journal]. 2010; (3):45-47. [in Rus.]
 16. Chulovskaya IG, Skoroglyadov AV, Yes'kin NA, Magdiyev DA. Ul'trasonograficheskaya diagnostika zabolevaniy myagkikh tkaney kisti i predplech'ya [Ultrasonographic diagnosis of diseases of the soft tissue of hand and forearm]. *Kremlevskaya meditsina. Klinicheskiy vestnik* [Kremlin medicine. Clinical Gazette]. 2007; (1): 86-88. [in Rus.]
 17. Shevelev IN. Mikrokhirurgiya perifericheskikh nervov [Microsurgery of peripheral nerves]. M.; 2011. 304 s. [in Rus.]
 18. Sholomov II, Kireyev SI, Levchenko KK, Chekhonatskiy AA, Sholomova YeI. Sostoyaniye nervno-myshechnogo apparata u bol'nykh s povrezhdeniyami klyuchitsy, kostey plechevogo poyasa i proksimal'nogo otdela plecha [Status neuromuscular apparatus in patients with injuries of the clavicle, the bones of the shoulder girdle and proximal humerus]. *Prakticheskaya nevrologiya i neyroreabilitatsiya* [Practical Neurology and Neurorehabilitation]. 2008; (3):16-18. [in Rus.]
 19. Alaqeel A, Alshomer F. High resolution ultrasound in the evaluation and management of traumatic peripheral nerve injuries: review of the literature. *Oman Med.J.* 2014; 29(5):314-319.
 20. Barbour J, Yee A, Kahn LC, Mackinnon SE. Supercharged end-to-side anterior interosseous to ulnar motor nerve transfer for intrinsic musculature reinnervation. *J Hand Surg Am.* 2012; 37(10):2150-2159.
 21. Barrington MJ, Snyder GL. Neurologic complications of regional anesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2011; 24(5):554-560.
 22. Bodner G, Buchberger W, Schocke M, Bale R, Huber B, Harpf C [et al.] Radial nerve palsy associated with humeral shaft fracture: evaluation with US-initial experience. *Radiology.* 2001; 219(3):811-816.
 23. Bodner G, Huber B, Schwabegger A, Lutz M, Waldenberger P. Sonographic detection of radial nerve entrapment within a humerus fracture. *J Ultrasound Med.* 1999; 18:703-706.
 24. Buchtal G, Kuhl V. Nerve conduction, tactile sensibility and electromyogram after suture of peripheral nerves. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1989; 42:436-451.
 25. Chiou H-J, Chou Y-H, Chiou S-Y, Liu J-B, Chang C-Y. Peripheral nerve lesions: role of high-resolution us. *Radiographics.* 2003; 23(6):15.
 26. Cokluk C, Aydin K. Ultrasound examination in the surgical treatment of lower extremity peripheral nerve injuries: Part II. *Turk Neurosurg.* 2007; 17(3):197-201.
 27. Evans GR. Peripheral nerve injury: a review and approach to tissue engineered constructs. *Anat Rec.* 2001; 263(4):396-404.
 28. Filler AG, Kliot M, Howe FA, Hayes CE, Saunders DE, Goodkin R [et al.] Application of magnetic resonance neurography in the evaluation of patients with peripheral nerve pathology. *J Neurosurg.* 1996; 85: 299-309.
 29. Fornage BD. Peripheral nerves of the extremities: imaging with ultrasound. *Radiology.* 1988; 167:179-182.
 30. Gofeld M, Bristow JS, Chiu S, Kliot M. Preoperative ultrasound-guided mapping of peripheral nerves. *J. Neurosurg.* 2013; 119(3):709-713.
 31. Gruber H, Glodny B, Bendix N, Tzankov A, Peer S. High-resolution ultrasound of peripheral neurogenic tumors. *Eur Radiol.* 2007; 17(11):2880-2888.
 32. Guvencer M, Akyer P, Iyem C, Tetik S, Naderi S. Anatomic considerations and the relationship between the piriformis muscle and the sciatic nerve. *Surg Radiol Anat.* 2008; 30:467-74.
 33. Haber HP, Sinis N, Haerle M, Schaller HE. Sonography of brachial plexus traction injuries. *Am J Roentgenol.* 2006; 186(6):1787-1791.
 34. Huang Y, Zhu J, Liu F. Ultrasound in diagnosis of retroperitoneal femoral nerve injury: a case report. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2013; 66(2):50-52.
 35. Joseph JR, DiPietro MA, Somashekar D, Parmar HA, Yang LJS. Ultrasonography for neonatal brachial plexus palsy. *J. Neurosurg. Pediatrics.* 2014; 14(5):527-531.
 36. Kandenwein JA, Kretschmer T, Engelhardt M, Richter HP, Antoniadis G. Surgical interventions for traumatic lesions of the brachial plexus: a retrospective study of 134 cases. *J Neurosurg.* 2005; 103(4):614-621.
 37. Kline DG, Hackett ER, May PR. Evaluation of nerve injuries by evoked potentials and electromyography. *J Neurosurg.* 1969; 31:128-136.
 38. Koenig RW, Schmidt TE, Heinen CP, Wirtz CR, Kretschmer T, Antoniadis G, Pedro MT. Intraoperative high-resolution ultrasound: a new technique in the management of peripheral nerve disorders. *J Neurosurg.* 2011; 114(2):514-521.
 39. Landau ME, Barner KC, Campbell WW. Effect of body mass index on ulnar nerve conduction velocity, ulnar neuropathy at the elbow. *Muscle Nerve.* 2005; 32(3):360-363.
 40. Lee FC, Singh H, Nazarian LN, Ratliff JK. High-resolution ultrasonography in the diagnosis and intraoperative management of peripheral nerve lesions. *J Neurosurg.* 2011; 114(1):206-211.
 41. Lee J, Bidwell T, Metcalfe R. Ultrasound in pediatric peripheral nerve injuries: can this affect our surgical decision making? A preliminary report. *J Pediatr Orthop.* 2013; 33(2):152-158.
 42. Liguori GA. Complications of regional anesthesia: Nerve injury and peripheral nerve blockade. *J Neurosurg Anesthesiol.* 2004; 16:84-86.
 43. Millesi H, Rath T, Reihnsner ., Zoch G. Microsurgical neurectomy: its anatomical and physiological basis and its classification. *Microsurgery.* 1993; 14: 430-439.
 44. Noble J, Munro CA, Prasad VS, Midha R. Analysis of upper and lower extremity peripheral nerve injuries in a population of patients with multiple injuries. *J Trauma.* 1998; 45(1):116-122.
 45. Peer S, Bodner G (eds.) High resolution sonography of the peripheral nervous system: general considerations and technical concept. 2nd Ed. Berlin, Heidelberg: Springer; 2008. 208 p.
 46. Peer S, Bodner G, Meirer R, Willeit J, Piza-Katzer H. Examination of postoperative peripheral nerve lesions with high-resolution sonography. *Am J Roentgenol.* 2001; 177(2):415-419.
 47. Peer S, Kovacs P, Harpf C, Bodner G. High resolution sonography of lower extremity peripheral nerves: anatomic

- correlation and spectrum of pathology. *J Ultrasound Med.* 2002; 21:315-322.
48. Pham M, Bäumer T, Bendszus M. Peripheral nerves and plexus: imaging by MR-neurography and high-resolution ultrasound. *Curr Opin Neurol.* 2014; 27(4):370-9.
 49. Renna R, Erra C, Almeida V, Padua L. Ultrasound study shows nerve atrophy in post herpetic neuralgia. *Clin Neurol Neurosurg.* 2012; 114(10): 1343-1344.
 50. Schelle T. Millimetergenaue Diagnose mit HRUS. *DNP – Der Neurologe und Psychiater.* 2012; 13:59-71.
 51. Scholz T, Krichevsky A, Sumarto A, Jaffurs D, Wirth GA, Paydar K, Evans G. Peripheral nerve injuries: an international survey of current treatments and future perspectives. *J Reconstr Microsurg.* 2009; 25(6): 339-344.
 52. Siemionow M, Brzezicki G. Chapter 8: Current techniques and concepts in peripheral nerve repair. *Int Rev Neurobiol.* 2009; 87:141-172.
 53. Silvestri E, Martinoli C, Derchi LE, Bertolotto M, Chiaramondia M, Rosenberg I. Echotexture of peripheral nerves: correlation between US and histologic findings and criteria to differentiate tendons. *Radiology.* 1995; 197: 291-296.
 54. Solbiati L, De Pra L, Ierace T, Bellotti E, Derchi LE. High-resolution sonography of the recurrent laryngeal nerve: anatomic and pathologic considerations. *Am J Roentgenol.* 1985; 145(5):989-993.
 55. Stuart RM, Koh ESC., Bredahl WH. Sonography of peripheral nerve pathology. *Am J Roentgenol.* 2004; 182:123-129.
 56. Tang P, Wang Y, Zhang L, He C, Liu X. Sonographic evaluation of peripheral nerve injuries following the Wenchuan earthquake. *J Clin Ultrasound.* 2012; 40(1):7-13.
 57. Tiel RL, Happel LT Jr, Kline DG. Nerve action potential recording method and equipment. *Neurosurgery.* 1996; 39: 103-109.
 58. Toros T, Karabay N, Ozaksar K, Sugun TS, Kayalar M, Bal E. Evaluation of peripheral nerves of the upper limb with ultrasonography: a comparison of ultrasonographic examination and the intra-operative findings. *J Bone Joint Surg Br.* 2009; 91(6):762-765.
 59. Woo A, Bakri K, Moran SL. Management of ulnar nerve injuries. *J Hand Surg.* 2015; 40: 173-181.
 60. Zhu J, Liu F, Li D, Shao J, Hu B. Preliminary study of the types of traumatic peripheral nerve injuries by ultrasound. *Eur Radiol.* 2011; 21(5): 1097-1101.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Aitemirov Shamil M. – neurosurgeon, department of neurosurgery and vertebratology of Saratov Research Institute of Traumatology and Orthopedics

Ninel Vyacheslav G. – professor of Saratov Research Institute of Traumatology and Orthopedics, department of innovative projects in neurosurgery and vertebratology, chief researcher

Korshunova Galina A. – Saratov Research Institute of Traumatology and Orthopedics, department of innovative projects in neurosurgery and vertebratology, senior researcher

Shchanitsyn Ivan N. – Saratov Research Institute of Traumatology and Orthopedics, department of innovative projects in neurosurgery and vertebratology, senior researcher