

УДК 616.717/718-001.5-07:615.837

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-4-87-95>

© Мажорова И.И., Трофимова Е.Ю., Хамидова Л.Т., Титов Р.С., Боголюбский Ю.А., Евграфов П.Г., 2020 г.

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ НЕРВОВ У БОЛЬНЫХ С ТРАВМАМИ КОНЕЧНОСТЕЙ В РАННЕМ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОМ ИЛИ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДАХ

И. И. Мажорова, Е. Ю. Трофимова, Л. Т. Хамидова, Р. С. Титов, Ю. А. Боголюбский, П. Г. Евграфов

Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н. В. Склифосовского, Москва, Россия

Введение. В ранние сроки после травматического воздействия или интраоперационной травмы необходимо точно оценить характер повреждения периферического нерва.

Цели и задачи. Оценить информативность ультразвукового исследования у пациентов с травматическими и интраоперационными повреждениями нервов конечностей в ранние сроки после травмы или оперативного лечения.

Материалы и методы. Проведен анализ результатов клинко-инструментального обследования 106 пациентов с клиническими признаками нейропатии. Всего было исследовано 113 нервов.

Результаты. Чувствительность УЗИ в выявлении полного разрыва волокон нерва составила 100% (95% ДИ: 39,8–100%), специфичность — 99,0% (94,7–100,0%). Чувствительность УЗИ в диагностике компрессии нерва костью составила 100% (66,4–100%), специфичность — 100% (96,3–100%); в диагностике компрессии металлоконструкцией, соответственно, 100% (15,8–100%) и 100% (88,4–100%).

Заключение. УЗИ является высокоинформативным методом объективной оценки характера повреждения нервов конечностей в ранние сроки после травмы конечностей и в раннем послеоперационном периоде.

Ключевые слова: перелом костей, травматическая нейропатия, периферический нерв, ранние сроки травмы, ультразвуковое исследование

Контакт: Мажорова Ирина Игоревна, shinycoin@yandex.ru

© Mazhorova I.I., Trofimova E.Yu., Khamidova L.T., Titov R.S., Bogolyubsky Yu.A., Evgrafov P.G., 2020

ULTRASOUND EXAMINATION OF PERIPHERAL NERVE INJURIES IN PATIENTS WITH LIMB INJURIES IN THE EARLY POST-TRAUMATIC OR POSTOPERATIVE PERIODS

Irina I. Mazhorova, Elena Yu. Trofimova, Layla T. Khamidova, Roman S. Titov, Yuri A. Bogolyubsky, Pavel G. Evgrafov

N. V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow, Russia

Introduction. In the early hours and days after traumatic or surgical event it is essential to determine type of peripheral nerve injury accurately.

Objective. To assess performance of diagnostic ultrasound (US) in patients with traumatic and intraoperative nerve injuries during the early hours and days after trauma or surgery.

Materials and methods. 106 patients with clinical signs of extremity nerve injuries were included into the study. A total of 113 limb nerves were investigated with US.

Results. US sensitivity in the detection of complete nerve rupture was 100% (95% CI: 39.8–100%), specificity — 99.0% (94.7–100.0%); for nerve compression with the bone sensitivity was 100% (66.4–100%), specificity — 100% (96.3–100%); for nerve compression with fixation devices sensitivity was 100% (66.4–100%), specificity — 100% (15.8–100%) и 100% (88.4–100%).

Conclusion. Nerve US is a reliable method for the evaluation of extremity nerve injury, the method can be recommended for use in the early hours and days after trauma or surgery.

Key words: fracture, traumatic nerve injury, neuropathy, peripheral nerve, early stage after trauma, nerve ultrasound

Contact: Mazhorova Irina Igorevna, shinycoin@yandex.ru

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мажорова И.И., Трофимова Е.Ю., Хамидова Л.Т., Титов Р.С., Боголюбский Ю.А., Евграфов П.Г. Ультразвуковое исследование повреждений периферических нервов у больных с травмами конечностей в раннем посттравматическом или послеоперационном периодах // *Лучевая диагностика и терапия*. 2020. Т. 11, № 4. С. 87–95, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-4-87-95>.

Conflict of interests: the author stated that there is no potential conflict of interests.

For citation: Mazhorova I.I., Trofimova E.Yu., Khamidova L.T., Titov R.S., Bogolyubsky Yu.A., Evgrafov P.G. Ultrasound examination of peripheral nerve injuries in patients with limb injuries in the early post-traumatic or postoperative periods // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2020. Vol. 11, No. 3. P. 87–95, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-4-87-95>.

Введение. Повреждения периферических нервов при травме конечностей характеризуются значительной частотой. Они встречаются, по данным разных авторов, в 3–10% случаев [1–3]. Такие повреждения являются достаточно тяжелыми, так как нередко приводят к значительной потере функции конечности и, как следствие, к длительной нетрудоспособности или инвалидности в трудоспособном возрасте [4, 5].

Механические повреждения периферических нервов происходят в результате таких воздействий, как ранение, тракция, компрессия или контузия. Ранения нерва более характерны для открытых травм (раны, открытые переломы со значительным повреждением мягких тканей). Наоборот, при закрытых травмах (закрытые переломы, вывихи, ушибы) чаще происходят тракционные, компрессионные и контузионные повреждения.

В зависимости от характера повреждения невралических структур, согласно классификации Н. Seddon (1943), выделяют три типа повреждений: нейрапраксия, аксонотмезис и нейротмезис [3, 6]. Нейрапраксия представляет собой наиболее легкий тип повреждения нерва и определяется как временная блокада проведения нервного импульса в результате демиелинизации нервного волокна [7–9]. Аксонотмезис характеризуется нарушением целостности аксонов, при этом эпинеурий и периневрий сохраняются неповрежденными [9–12]. При нейротмезисе происходит полный разрыв как аксонов, так и всех невралических оболочек с макроскопической потерей целостности нерва, что делает невозможным спонтанное восстановление и требует экстренного хирургического вмешательства [13].

Чаще всего поражаются нервы верхних конечностей (около 50% всех повреждений периферических нервов) [3, 14]. Наиболее часто повреждения нервов являются осложнением переломов и могут произойти как непосредственно во время получения травмы, так и на этапах лечения перелома: при закрытой репозиции и внешней фиксации или при выполнении остеосинтеза [15].

Очевидно, что именно в ранние сроки после травмы выявление локализации, характера и степени повреждения нервного ствола, особенно при закрытых повреждениях, не предполагающих немедленно хирургического вмешательства, представляет для клиницистов первоочередный интерес, поскольку эта информация во многом определяет тактику лечения.

Для диагностики повреждений нервов используют как клинический метод, так и инструментальные методы исследования. При открытых повреждениях ревизию нервов выполняют в ходе экстренного хирургического вмешательства, и инструментальная диагностика в предоперационном периоде, как правило, не имеет решающего значения. При закрытых травмах клинический метод исследования дает возможность установить факт повреждения нерва, но

не позволяет точно определить уровень и степень повреждения. Для уточнения диагноза необходимо использовать инструментальную диагностику.

Исследование функционального состояния поврежденного нерва при помощи электронейромиографии (ЭНМГ) в ранние сроки после травмы считается малоинформативным в связи с регистрацией значительного числа ложноположительных и ложноотрицательных результатов [5, 16], в связи с чем важнейшее значение приобретает визуализирующее исследование. Наибольшее распространение в этом качестве получило ультразвуковое исследование (УЗИ). Введение УЗИ в алгоритм обследования пациентов с клинической картиной повреждения нерва позволяет быстро получить информацию о целостности нерва, уровне поражения или сегменте, определить степень и характер структурных изменений, возможный повреждающий фактор [5, 17–21].

Ультразвуковая диагностика отличается от других методов визуализации относительной простотой выполнения, быстротой исследования, возможностью оценивать изменения структуры в динамике, а также меньшей стоимостью по сравнению с МРТ и КТ [6, 17, 18, 22].

Использованию УЗИ для визуализации периферических нервов при травматических повреждениях посвящено значительное количество научных трудов, как российских, так и зарубежных. Однако в основном авторы обсуждают применение УЗИ, начиная с раннего периода повреждения нерва. Даже если в работах упоминается острый период повреждения, как правило, речь идет о контроле в послеоперационном периоде [17, 19, 23–25].

Между тем, именно в остром периоде травмы визуализация поврежденного нерва является особенно важной, поскольку на основании полученных данных определяется тактика лечения травматической нейропатии [26].

Таким образом, в уточнении нуждаются вопросы, связанные с целесообразностью, сроками, техническими особенностями и диагностической ценностью ультразвукового исследования, выполняемого в остром периоде травматического повреждения периферических нервов.

Цель: оценка возможностей метода ультразвуковой диагностики при обследовании пациентов с травматическими повреждениями периферических нервов в ранние сроки после травмы или оперативного лечения.

Материал и методы. Проведен анализ результатов клинко-инструментального обследования 106 пациентов с наличием клинических признаков нейропатии, проходивших лечение в НИИ СП им. Н. В. Склифосовского в период с 2013 по 2019 г. Среди них было 70 мужчин (66%) и 36 женщин (34%). Средний возраст пациентов составил 44 года (от 18 до 90 лет). Распределение пациентов по возрасту отличалось от нормального, медиана возраста

составила 38 лет (25–75 процентиль — 30–57 лет). У 7 пациентов (6,6%) имело место повреждение двух и более нервных стволов. Всего было исследовано 113 нервов.

Чаще всего причиной возникновения нейропатии были закрытые переломы костей конечностей, другие виды повреждений встречались реже (табл. 1).

Таблица 1

Распределение пациентов в зависимости от причины повреждений

Table 1

Distribution of patients depending on the cause of damage

Причины повреждений	Количество пациентов	
	абс. число	% от общего числа
Закрытые переломы костей конечностей	84	79,2
Открытые переломы костей конечностей	6	5,7
Ушибы мягких тканей	3	2,8
Резаные раны конечностей	4	3,8
Огнестрельное ранение	4	3,8
Укушенная рана	1	0,9
Синдром длительного сдавления	3	2,8
Сонно-подключичное протезирование	1	0,9
Всего	106	100,0

Распределение пациентов по частоте повреждения различных нервов конечностей представлено в табл. 2.

Таблица 2

Распределение пациентов по частоте повреждения различных нервов конечностей

Table 2

The distribution of patients by frequency of damage to different nerves of the limbs

Нерв	Число исследований	
	абс. число	% от общего числа исследованных нервов
Лучевой (плечо и предплечье)	74	65,5
Локтевой (плечо и предплечье)	9	8,0
Срединный (предплечье)	5	4,4
Седалищный	3	2,7
Малоберцовый	8	7,1
Большеберцовый	1	0,9
Стволы и пучки плечевого сплетения	12	10,6
Бедренный нерв	1	0,9
Всего	113	100,0

Чаще всего повреждениям были подвержены нервы верхних конечностей (77,9% от общего коли-

чества исследованных нервов), из них наиболее часто — лучевой нерв, что соответствует данным отечественной и зарубежной литературы [27–29].

Ультразвуковые исследования проводили на аппаратах MyLab 70 и MyLab Class C (Esaote, Италия) линейными датчиками с диапазонами частот сканирования 5–13 МГц. Для визуализации нервных стволов использовали режим серой шкалы (В-режим), цветовой (ЦДК) и энергетическое доплеровское картирование (ЭД) по стандартной методике [18]. Оценивали структуру нерва в В-режиме с определением контуров, размеров, формы, эхогенности и эхоструктуры, а также в режиме ЦДК и ЭД определяли наличие интраневральной и периневральной васкуляризации. Периферические нервы исследовали в двух взаимно перпендикулярных плоскостях — в продольном и поперечном сечениях. Исследование проводили билатерально. При продольном сканировании определяли непрерывность хода волокон нерва, его эхогенность, эхоструктуру и степень дифференцировки на пучки, а также наличие васкуляризации, оценивали толщину нерва. При поперечном сканировании исследовали форму и эхоструктуру нервного ствола, вычисляли площадь поперечного сечения нерва (ППС). При поперечном и продольном сканировании также обращали внимание на изменение эхогенности эпинеурии на протяжении. Толщину нерва и ППС оценивали количественно, остальные характеристики нерва — качественно.

Основными задачами исследования считали установление непрерывности нервного ствола или выявление его анатомического перерыва, а также определение взаиморасположения нерва с твердыми структурами: неповрежденными костями, костными отломками, а в послеоперационном периоде — и с элементами металлоконструкций.

Предварительная подготовка области исследования заключалась в снятии гипсовой, бинтовой или пластырной повязок. Для проведения ультразвукового исследования нервов плеча и предплечья пациент сидел лицом к исследователю, под пораженную конечность подкладывали мягкий валик для придания физиологического положения и расслабления конечности. Для исследования нервов нижних конечностей пациента укладывали на живот или на бок (в зависимости от наличия или отсутствия аппаратов наружной фиксации). 14 пациентов (13,2%) были осмотрены в условиях отделения реанимации, поэтому конечности придавали такое положение, при котором можно было произвести оценку структуры нерва на всем протяжении. При выполнении инструкций врача и стабильном положении конечности во время сканирования, болевые ощущения у пациентов, как правило, не возникали или были минимальными. При наличии выраженного болевого синдрома проводили премедикацию наркотическими анальгетиками.

Верификацию данных УЗИ у оперированных пациентов осуществляли посредством интраоперацион-

ных наблюдений, а у пациентов, которым операции не выполняли, — по клиническому результату и данным инструментальной диагностики (МРТ, ЭНМГ).

По возможности выполняли первичное ультразвуковое исследование максимально быстро после повреждения нерва. С учетом времени, прошедшего от травмы до госпитализации, 56 пациентов (52,8%) осмотрены в сроки до 3 суток от момента получения травмы, 35 пациентов (33,0%) — от 3 до 6 суток. Остальные 15 пациентов (14,2%) — в сроки от 7 до 18 суток (рис. 1).

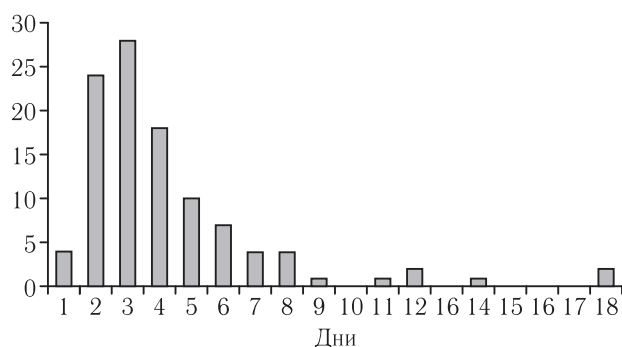


Рис. 1. Распределение пациентов по срокам исследования от момента травмы

Fig. 1. Distribution of patients by study period from the moment of injury

Таким образом, 84 пациента (79,2%) осмотрены в ранние сроки от момента получения травмы.

Первичное повреждение периферических нервов имело место у 98 пациентов (92,5%), а ятрогенное — у 8 (7,5%).

Статистическую обработку проводили при помощи программ IBM SPSS 23 и MedCalc. Количественные данные представлены при нормальном распределении в форме «Среднее \pm стандартное отклонение»; при распределении, отличном от нормального — в форме «Медиана (25 перцентиль — 75 перцентиль)». Оценку статистической значимости межгрупповых отличий проводили с помощью t-теста Стьюдента для независимых выборок (в случае нормального распределения) или с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни (при распределении, отличном от нормального). Силу взаимосвязи между качественными признаками оценивали с помощью коэффициента λ (лямбда) Гудмана и Краскелла. Для качественных признаков определяли показатели информативности по общепринятой методике. Чувствительность определяли как процент истинно положительных результатов среди пациентов с наличием того или иного повреждения нерва; специфичность — как процент истинно отрицательных результатов среди всех пациентов без соответствующего повреждения нерва по данным верификации; прогностическую ценность положительного результата — как долю истинно положительных результатов среди всех пациентов с положительным результатом; прогно-

стическую ценность отрицательного результата — как долю истинно отрицательных результатов среди всех пациентов с отрицательным результатом. Для чувствительности, специфичности и прогностической ценности в каждом случае в скобках указан 95% доверительный интервал (в виде «процент (нижняя граница — верхняя граница 95% доверительного интервала в процентах)»).

Результаты и их обсуждение. При выполнении первичного исследования мы столкнулись с трудностями визуализации у 6 пациентов (5,7%). Причинами этого были экранирование нервов чрескостными элементами аппаратов наружной фиксации (АНФ), наличие выраженного отека мягких тканей в зоне перелома или операции. Исследования у 100 пациентов (94,3%) позволили получить информативные результаты, что свидетельствует о хорошей визуализации нервов даже в ранние сроки от момента получения травмы. У этих пациентов выполнено 106 исследований, которые и использованы для статистического анализа.

Важнейшей задачей первичного исследования при закрытой травме, в том числе при переломах, было обнаружение разрыва нерва, так как это являлось показанием к выполнению срочного хирургического вмешательства [30–32]. Оценку целостности нерва производили преимущественно при продольном сканировании, при крайне выраженном отеке проводили оценку целостности в поперечном сканировании, при этом было необходимо четко определить момент отсутствия визуализации ткани ствола нерва. Сохранение непрерывности нервного ствола зафиксировано в 90 исследованиях (84,9%), признаки наличия краевого дефекта нерва (частичное нарушение целостности) были выявлены в 11 (10,4%) исследованиях, а полное нарушение целостности нерва в 5 (4,7%) исследованиях.

Так как в наше исследование попали пациенты преимущественно с закрытыми переломами конечностей, у них полное или частичное нарушение целостности нервов выявляли гораздо реже, чем по данным других авторов, исследования которых посвящены в основном открытым повреждениям нервов [21, 31, 32].

В исследованной выборке пациентов полное нарушение целостности нерва верифицировано интраоперационным наблюдением у 4 пациентов (4,0%) в 4 исследованиях (3,8%). В обнаружении признака «полное нарушение целостности нерва» между данными УЗИ и данными верификации обнаружилась сильная корреляционная взаимосвязь (коэффициент λ (лямбда) Гудмана и Краскелла 0,733, $p < 0,001$). Чувствительность УЗИ в выявлении полного разрыва волокон нерва составила 100% (39,8–100%), специфичность — 99,0% (94,7–100,0%). Прогностическая ценность отрицательного результата составила 100%, то есть отсутствие признаков полного разрыва нерва по данным

УЗИ позволяет с высокой точностью исключить полный разрыв нерва даже в условиях отека мягких тканей и наличия металлоконструкций, затрудняющих визуализацию области повреждения.

Сопоставление эхографической картины полного повреждения лучевого нерва и интраоперационных наблюдений представлено на рис. 2.

твердили интраоперационно у 9 (9,0%) пациентов, в 9 (8,5%) исследованиях, в остальных случаях интерпозиция не подтвердилась. Таким образом, чувствительность УЗИ для выявления интерпозиции составила 100% (66,4–100%), специфичность — 94,9% (88,4–98,3%), прогностическая ценность отрицательного результата — 100%, положительного — 64,3%

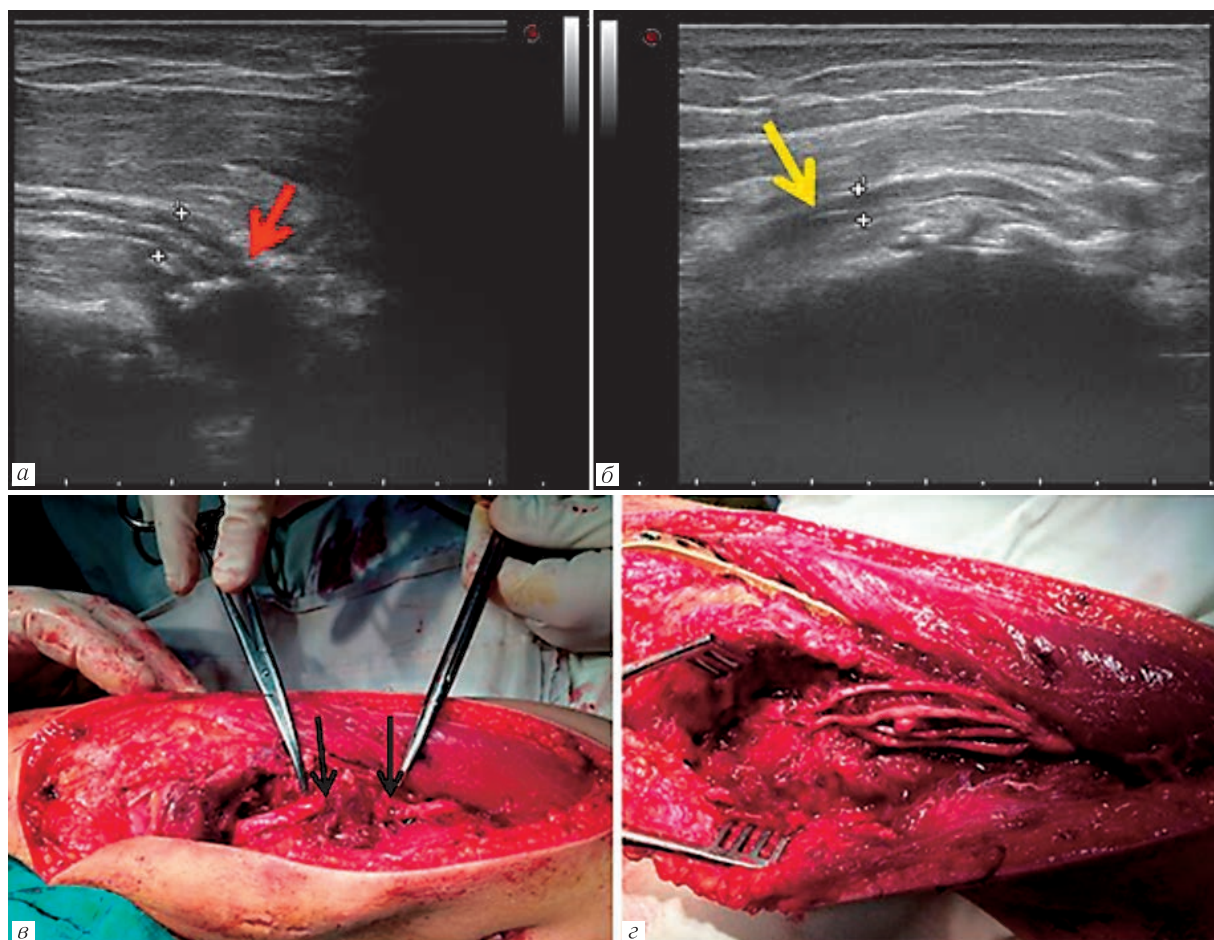


Рис. 2. Полный разрыв лучевого нерва при многооскольчатом переломе диафиза плечевой кости со смещением отломков в результате высокоэнергетической травмы (ДТП): а, б — эхограммы. Ультразвуковая картина разрыва лучевого нерва: а — проксимальная культя; б — дистальная культя. в, г — интраоперационные фотографии: нарушение целостности лучевого нерва (стрелки). Пластика лучевого нерва аутоперитрансплантатом икроножного нерва

Fig. 2. Complete rupture of the radial nerve in a multi-splinter fracture of the humerus diaphysis with dislocation of fragments as a result of high-energy trauma: а, б — echograms. Ultrasound picture of the radial nerve rupture: а — proximal stump; б — distal stump; в, г — intraoperative photos: violation of the integrity of the radial nerve (arrows).

Radial nerve repair with an autotransplant of the calf nerve

Таким образом, выявленный при первичном УЗИ разрыв лучевого нерва позволяет спланировать операцию, включающую как остеосинтез плечевой кости, так и реконструкцию нервного ствола.

При проведении УЗИ важным было выявить расположение нерва относительно твердых структур. Наиболее значимым является взаиморасположение нервного ствола с костными отломками при переломах. Неблагоприятными вариантами такого взаиморасположения считали интерпозицию и компрессию нерва.

Интерпозицию выявили по данным УЗИ у 14 (14,0%) пациентов в 14 (13,2%) исследованиях; под-

(43,4–80,9%). Следовательно, отсутствие интерпозиции по данным УЗИ позволяет с большой долей уверенности исключить таковую, а подозрение на интерпозицию требует дополнительной информации для верификации диагноза. Выявление интерпозиции нерва или подозрение на неё влечет за собой необходимость выполнения ревизии, поскольку велика вероятность врастания нерва в формирующуюся костную мозоль, что может привести к нарушению функции конечности. Пример соответствия эхографической картины интерпозиции нерва между костными отломками и интраоперационных наблюдений представлен на рис. 3.

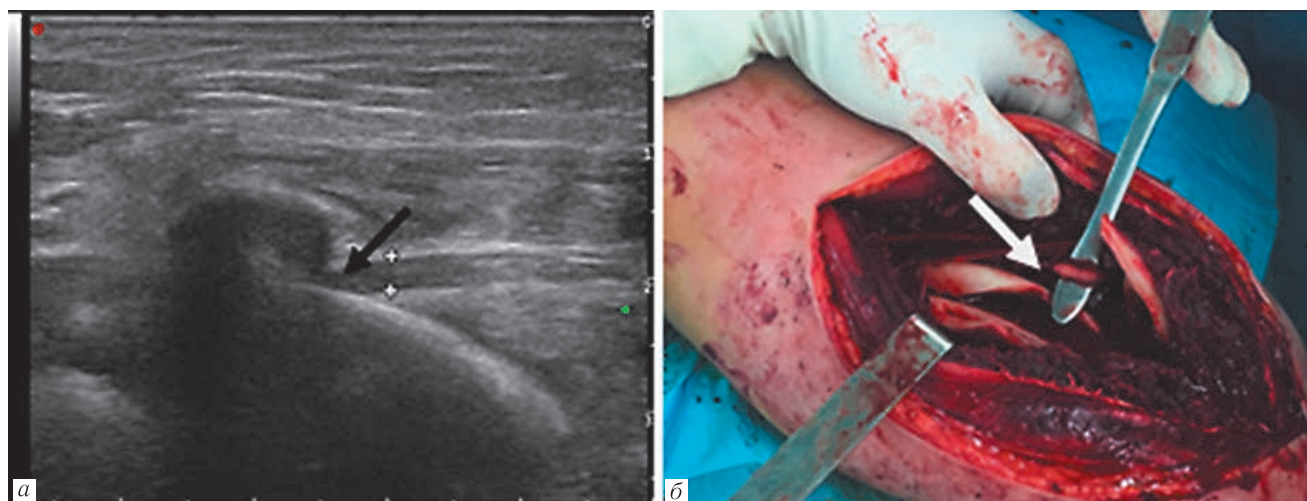


Рис. 3. Перелом диафиза плечевой кости со смещением отломков: *а* — эхограмма. Расположение ствола нерва между костными отломками (черная стрелка); *б* — интраоперационная фотография. Расположение ствола нерва между костными отломками (белая стрелка)

Fig. 3. Fracture of the humerus diaphysis with dislocation of fragments: *a* — echogram. Location of the nerve trunk between the bone fragments (black arrow); *б* — intraoperative photograph. Location of the nerve trunk between the bone fragments (white arrow)

Компрессию нерва костным отломком выявили по данным УЗИ у 9 пациентов (9,0%) в 9 исследованиях (8,5%), а ятрогенную компрессию нерва, обусловленную воздействием частями металлоконструкций после операций остеосинтеза, по данным УЗИ выявили у 2 пациентов из 32 (6,3%) в 2 исследованиях (6,3%). В одном случае имела место компрессия лучевого нерва заостренной частью фиксирующего винта, во втором случае малоберцовый нерв оказался сдавлен лигатурой в ходе первичной хирургической обработки раны подколенной области. Данные УЗИ подтвердили при ревизии нервов во всех 11 случаях. Таким образом, чувстви-

тельность УЗИ в диагностике компрессии нерва костью составила 100% (66,4–100%), специфичность — 100% (96,3–100%); в диагностике компрессии металлоконструкцией, соответственно, 100% (15,8–100%) и 100% (88,4–100%).

Пример соответствия эхографической картины компрессии лучевого нерва костным отломком и интраоперационных наблюдений представлен на рис. 4.

Уменьшение толщины нерва при компрессии на пораженной стороне относительно здоровой также зафиксировано у всех пациентов. Медиана относительного уменьшения толщины составила –31%

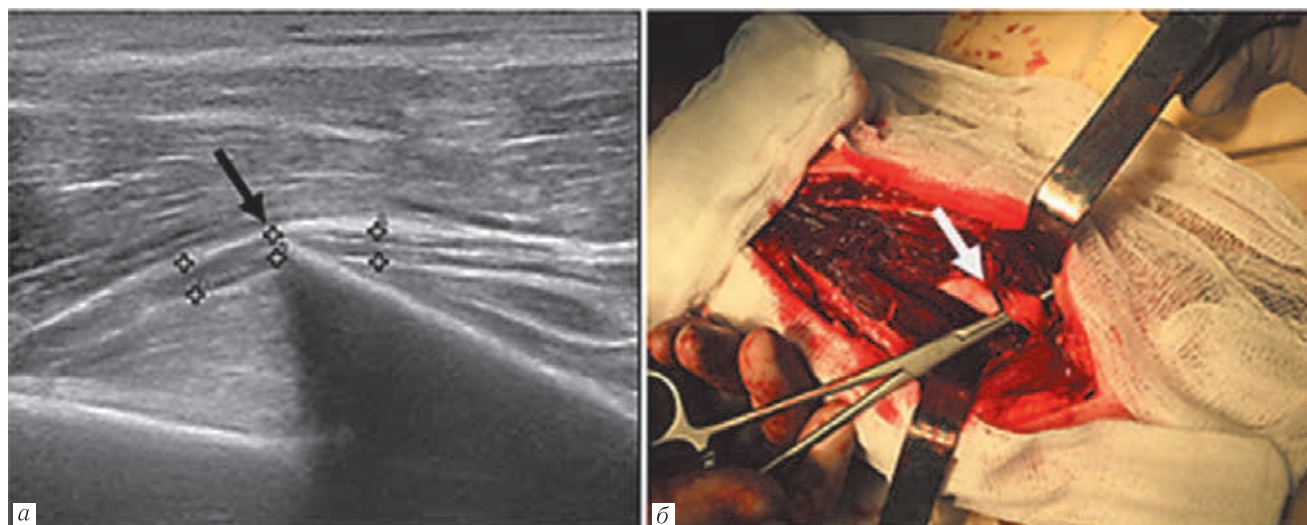


Рис. 4. Перелом диафиза плечевой кости со смещением отломков: *а* — эхограмма. Сдавление и натяжение ствола нерва смещенным костным отломком (черная стрелка); *б* — интраоперационная фотография. Сдавление ствола нерва смещенным костным отломком (белая стрелка)

Fig. 4. Fracture of the humerus diaphysis with dislocation of fragments: *a* — echogram. Compression and tension of the nerve trunk by a displaced bone fragment (black arrow); *б* — intraoperative photograph. Compression of the nerve trunk by a displaced bone fragment (white arrow)

(−43–27%), то есть у большинства пациентов с подтвержденной компрессией толщина нерва на больной стороне была на треть меньше.

В тех случаях, когда непрерывность нерва была сохранена, а неблагоприятное взаиморасположение нервного ствола с твердыми структурами выявлена не была, повреждение нерва расценивали как тракционное или контузионное.

Тракционные повреждения диагностированы в 17 исследованиях (16,0%) у 17 (17,0%) пациентов, по данным верификации подтверждены для 8 исследований (7,5%), у 8 пациентов (8,0%) интраоперационно. Ложноотрицательных результатов не зафиксировано. Чувствительность УЗИ для обнаружения трaкции нерва составила 100% (63,1–100%), специфичность — 90,8% (83,3–95,7%), прогностическая ценность положительного результата — 46,9% (32,1–62,2%), отрицательного — 100%.

У всех пациентов с тракционными повреждениями наблюдали увеличение ППС нерва, средний прирост ППС по сравнению с неповрежденной стороной составил 121% (100–172%), то есть в среднем в месте повреждения ППС нерва увеличивалась более чем в 2 раза за счет отека ствола нерва и внутривольных гематом.

Среднее относительное изменение толщины на больной стороне составило $28 \pm 30\%$ (минимум – 33%, максимум +48%). В 7 исследованиях из 48 (14,6%) наблюдали отсутствие прироста толщины или уменьшение толщины на больной стороне. Вероятно, использование ППС для оценки нерва предпочтительнее, поскольку учитывает изменение как наибольшего, так и наименьшего диаметра нервного ствола при эллипсовидной форме нерва в поперечном сечении.

Отличие от тракционных повреждений, для контузии нерва характерен прямой механизм травмы, причем воздействие происходит одномоментно. При контузионных повреждениях контакт нерва с костными отломками не является постоянным признаком. Изменения нервного ствола при УЗИ схожи с тракционным повреждением, однако они менее выражены и более локализованы преимущественно в зоне перелома.

У 45 пациентов без нарушения целостности нерва, тракционных повреждений и интерпозиции, было проведено 48 исследований, при которых также измеряли ППС в месте повреждения и на неповрежденной стороне. Среднее относительное изменение ППС нерва в области повреждения составило $61 \pm 48\%$.

В 45 исследованиях из 48 (93,8%) наблюдали положительный прирост ППС на стороне повреждения, но выраженный в меньшей степени, чем у пациентов с тракционным повреждением нерва (рис. 5).

У пациентов с трaкцией нерва наблюдали достоверно больший прирост ППС нерва на пораженной стороне, чем у пациентов с контузией нерва

($p=0,001$). По данным ROC-анализа, применение пограничного значения прироста ППС 92% и более позволяет с чувствительностью 87,5%, специфичностью 81,2% дифференцировать тракционное повреждение нерва от контузионного. Именно поэтому для диагностики таких повреждений нерва ориентировались прежде всего на изменение прироста ППС и на протяженность этих изменений. Отмечали увеличение ППС проксимальнее зоны перелома у пациентов с тракционными повреждениями.

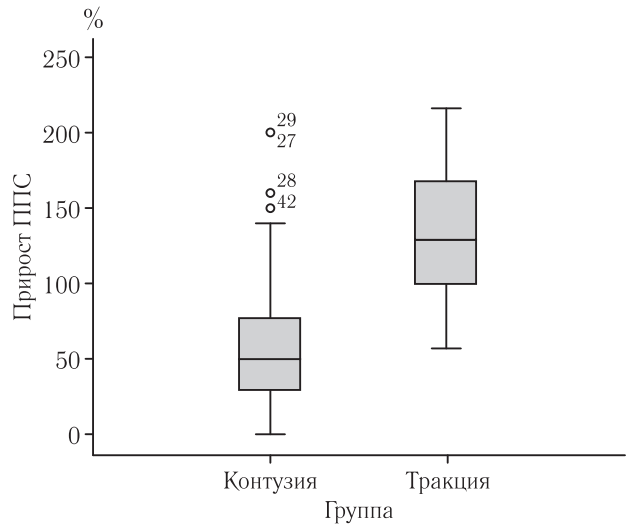


Рис. 5. Распределение увеличения ППС у пациентов с подтвержденной травматической контузией нерва и подтвержденной трaкцией нерва

Fig. 5. Distribution of cross-sectional area increase in patients with confirmed traumatic nerve contusion and confirmed nerve traction

Также мы проанализировали информативность качественных признаков травмы нерва: пониженная эхогенность нерва, повышенная эхогенность эпиневрия, нарушение дифференцировки на пучки. Считали, что имеются признаки контузии нерва при наличии хотя бы одного из вышеуказанных признаков. Полученные результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Информативность качественных признаков травмы периферического нерва

Table 3

Informativeness of qualitative signs of peripheral nerve injury

Количество признаков	Число исследований	Доля от числа исследований, % (n=48)
0	5	10,4
1	5	10,4
2	17	35,4
3	21	43,8
Всего	48	100

Таким образом, с помощью качественных признаков удалось выявить контузию нерва в 43 исследова-

ниях из 48 (89,6%). В 3 исследованиях из 5 в отсутствие качественных признаков контузии (0 признаков из 3) наблюдали значительное (от 49 до 75%) увеличение ППС по сравнению со здоровой стороной.

У пациентов травматологического профиля ультразвуковое исследование, выполненное при диагностике повреждений периферических нервов верхних и нижних конечностей в ранние сроки после травмы или оперативного вмешательства, позволяет описать патологическую ультразвуковую картину с учетом качественных и количественных параметров. В отечественных [29, 31, 32] и зарубежных [17, 34–36] публикациях есть данные об изменении ППС и структуры нерва при различных повреждениях, но, как правило, применительно к отдаленным срокам после травмы. При этом существует необходимость проведения исследования в ранние сроки для возможности своевременного и более полного представления об изменении количественных и качественных параметров периферических нервов у пациентов с клиническими признаками нейропатии, что влияет на возможность своевременного принятия мер для раннего восстановления функции конечности.

Исследование дает возможность выявления не только полного или частичного нарушения непрерывности нерва, но и тракционных или контузионных повреждений. При этом возможно выявить такие варианты неблагоприятного взаимного расположения нервного ствола с твердыми структурами, как компрессия или интерпозиция.

Закключение. УЗИ является высокоинформативным методом объективной оценки целостности, изменений структуры, размеров и расположения периферических нервов относительно твердых структур конечностей, который можно использовать для выявления причины, уровня и степени повреждения в ранние сроки после травмы конечностей и в раннем послеоперационном периоде у пациентов травматологического профиля. Достоверность полученных данных, подтвержденная интраоперационными наблюдениями и клиническими результатами, позволяет использовать эти данные для определения тактики лечения, в том числе хирургического, а также прогнозировать возможность восстановления поврежденного нерва.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Hudson A.R., Hunter D. Timing of peripheral nerve repair: important local and neuropathological factors // *Clin. Neurosurg.* 1977. Vol. 24. P. 391–405. doi: 10.1093/neurosurgery/24.cn_suppl_1.391.
- 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. Vol. 45, No. 1. P. 116–122. doi: 10.1097/00005373-199807000-00025
- Campbell W.W. Evaluation and management of peripheral nerve injury // *Clin. Neurophysiol.* 2008. Vol. 119, No. 9. P. 1951–1965.
- Берснев В.П., Коккин Г.С., Извекова Т.О. *Практическое руководство по хирургии нервов*: в 2 томах. СПб., 2009. Т. 1. 296 с. [Bersnev V.P., Kokin G.S., Izvekova T.O. *Practical guide to nerve surgery*: in 2 vol. Saint Petersburg, 2009. Vol. 1. 296 p. (In Russ.).]
- Боголюбовский Ю.А., Ключков И.Ю., Сластикин В.В. Современное состояние проблемы диагностики и лечения диафизарных переломов плечевой кости, осложненных нейропатией лучевого нерва // *Журнал им. Н.В.Склифосовского Неотложная медицинская помощь*. 2015. № 4. С. 30–38. [Bogolyubsky Yu.A., Klyukvin I.Yu., Slastinin V.V. Current state of the problem of diagnosis and treatment of diaphyseal fractures of the humerus complicated by radial nerve neuropathy. *Sklyfosovsky Emergency medical care journal*, 2015, No. 4, pp. 30–38 (In Russ.).]
- Martins R.S., Bastos D., Siqueira M.G., Heise C.O., Teixeira M.J.. Traumatic injuries of peripheral nerves: a review with emphasis on surgical indication // *Arq Neuropsiquiatr.* 2013. Vol. 71, No. 10. P. 811–814.
- Grant G.A., Goodkin R., Kliot M. Evaluation and surgical management of peripheral nerve problems // *Neurosurgery.* 1999. Vol. 44, No. 4. P. 825–840. doi: 10.1097/00006123-199904000-00077.
- Weber R.V., MacKinnon S.E. Bridging the neural gap // *Clin. Plast. Surg.* 2005. Vol. 32, No. 4. P. 605–616. doi: 10.1016/j.cps.2005.05.003.
- Spinner R.J., Kline D.G. Surgery for peripheral nerve and brachial plexus injuries or other nerve lesions // *Muscle Nerve.* 2000. Vol. 23, No. 5. P. 680–695. doi: 10.1002/(sici)1097-4598(200005)23:5<680::aid-mus4>3.0.co;2-h.
- Schmid D.B., Salyapongse A.N. Nerve injury and repair // *Curr. Orthop Pract.* 2008. Vol. 19, No. 7. P. 475–480. doi: 10.1097/bco.0b013e3283021495.
- Hall S. Nerve repair: a neurobiologist's view // *J. Hand Surg. (Br.)* 2001. Vol. 26, No. 2. P. 129–136. doi: 10.1054/jhsb.2000.0497.
- Gordon T., Chan KM, Sulaiman OAR, Udina E, Amirjani N, Brushart TM. Accelerating axon growth to overcome limitations in functional recovery after peripheral nerve injury // *Neurosurgery.* 2009. Vol. 65, No. 4, Suppl. P. A132–144. doi: 10.1227/01.NEU.0000335650.09473.D3.
- Robinson L.R. Traumatic injury to peripheral nerve // *Muscle Nerve.* 2000. Vol. 23, No. 6. P. 863–873. doi: 10.1002/(sici)1097-4598(200006)23:6<863::aid-mus4>3.0.co;2-o.
- Banerjee M., Bouillon B., Shafizadeh S., Paffrath T., Lefering R., Wafaisade A. The German trauma registry group. Epidemiology of extremity injuries in multiple trauma patients. *Injury // Int. J. Care Injured.* 2013. Vol. 44. P. 1015–1021.
- Thomsen Niels O.B., Dahlin L.B. Injury to the radial nerve caused by fracture of the humeral shaft: timing and neurobiological aspects related to treatment and diagnosis // *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg. Hand Surg.* 2007. Vol. 41, No. 4. P. 153–157. doi: 10.1080/02844310701445586.
- Соков Л.П., Соков Е.Л., Соков С.Л. *Клиническая нейротравматология и нейроортопедия*. М.: Камерон, 2004. 528 с. [Sokov L.P., Sokov E.L., Sokov S.L. *Clinical neurotraumatology and neuroorthopedics*. Moscow: publishing house Cameron, 2004. 528 pp. (In Russ.).]
- Kara M., Ozcakar L., De Muynck M., Tok F., Vanderstraeten G. Musculoskeletal ultrasound for peripheral nerve lesions // *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* 2012. Vol. 48, No. 4. P. 665–674.
- Салтыкова В.Г. Нормальная эхографическая картина периферических нервов // *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2007. № 3. С. 74–81. [Saltykova V.G. Normal echographic picture of peripheral nerves. *Ultrasound and functional diagnostics*, 2007, No. 3, pp. 74–81 (In Russ.).]
- Чулловская И.Г., Коршунов В.Ф., Еськин Н.А., Магдиев Д.А. Возможности ультрасонографии в диагностике повреждений периферических нервов верхней конечности // *Радиология — практика*. 2005. № 3. С. 11–16. [Chulovskaya I.G., Korshunov V.F., Eskin N.A., Magdiev D.A. The Possibilities of ultrasonography in the diagnosis of damage to the peripheral nerves of the upper limb. *Radiologia — practice*, 2005, No. 3, pp. 11–16 (In Russ.).]
- Еськин Н.А., Матвеева Н.Ю., Приписнова С.Г. Возможности ультразвукового исследования в диагностике повреждений и заболеваний периферических нервов верхней конечности // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н.Приорова*. 2008. № 2. С. 82–87. [Eskin N.A., Matveeva N.Yu., Antonova S.G. Potentialities of Ultra Sound Examination in Diagnosis of Injuries and Diseases of Upper Extremity Peripheral Nerves. *Bulletin of traumatology and orthopedics named after N.N.Priorov*, 2008, No. 2, pp. 82–87 (In Russ.).]
- Бехтерев А.В., Ткаченко С.А., Машталов В.Д. Тактика при повреждении периферических нервов верхней конечности // *Главный врач Юга России*. 2017. № 4. С. 28–32. [Bekhterev A.V., Tkachenko S.A., Mashtalov V.D. Tactics for damage to the peripheral nerves of the upper limb. *Head physician of the South of Russia*, 2017, No. 4, pp. 28–32 (In Russ.).]
- Lawande A.D., Warriar S.S., Joshi M.S. Role of ultrasound in evaluation of peripheral nerves // *Ind. J. Radiol. Imaging.* 2014. Vol. 24, No. 3. P. 254–258. doi: 10.4103/0971-3026.137037.
- Suk J.I., Walker F.O., Cartwright M.S. Ultrasonography of peripheral nerves // *Curr. Neurol. Neurosci. Rep.* 2013. Vol. 13, No. 2. P. 328. doi: 10.1007/s11910-012-0328-x.
- Боголюбовский Ю.А., Файн А.М., Сачков А.В., Мажорова И.И., Ваза А.Ю., Титов Р.С., Бондарев В.Б., Сергеев А.Ю. Ятрогенные повреждения лучевого нерва при остеосинтезе плечевой кости. Профилактика, диагностика и лечение // *Журнал им. Н.В. Склифосовского Неотложная медицин-*

- ская помощь. 2020. Т. 9, № 1. С. 51–61. [Bogolyubsky A.Yu., Fain A.M., Sachkov A.V., Mazhorova I.I., Vaza A.Yu., Titov R.S., Bondarev V.B. Yatrogenic injuries of the radial nerve in osteosynthesis of the humerus. Prevention, diagnosis and treatment. *Sklifosovsky Emergency medical care journal*, 2020, Vol. 9, No. 1, pp. 51–61 (In Russ.).]
25. Салтыкова В.Г., Голубев И.О., Меркулов М.В., Шток А.В. Роль ультразвукового исследования при планировании пластики периферических нервов // *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2012. № 4. С. 62–69. [Saltykova V.G., Golubev I.O., Merkulov M.V., Shtok A.V. The Role of ultrasound in planning peripheral nerve plasty. *Ultrasound and functional diagnostics*, 2012, No. 4, pp. 62–69 (In Russ.).]
 26. Боголюбовский Ю.А., Файн А.М., Мажорова И.И., Ваза А.Ю., Трофимова Е.Ю. Периоперационная диагностика повреждений лучевого нерва при закрытых диафизарных переломах плечевой кости и оценка целесообразности его ревизии // *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2018. № 3(33). С. 15–22. [Bogolyubsky Yu.A., Fain A.M., Mazhorova I.I., Vaza A.Yu., Trofimova E.Yu. Perioperative diagnostic of radial nerve injuries in closed diaphyseal fractures of the humerus and assessment of the feasibility of its revision // *Department of traumatology and orthopedics*, 2018, No. 3 (33), pp. 15–22 (In Russ.).] doi: 10.17238/issn2226-2016.2018.3.15-22.
 27. Kaiser R., Waldauf P., Ullas G., Krajcovic A. Epidemiology, etiology, and types of severe adult brachial plexus injuries requiring surgical repair: systematic review and meta-analysis // *Neurosurgical Review*. 2018. doi: 10.1007/s10143-018-1009-2.
 28. Huckhagel T., Nüchtern J., Regelsberger J., Lefering R. Nerve injury in severe trauma with upper extremity involvement: evaluation of 49,382 patients from the TraumaRegister DGU® between 2002 and 2015 // *Scand. J. Trauma Resusc. Emerg. Med*. 2018. Vol. 26, No. 1. P. 76. doi: 10.1186/s13049-018-0546-6.
 29. Салтыкова В.Г., Миткова М.Д. Роль эхографии в исследовании периферических нервов конечностей // *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2011. № 3. С. 93–106. [Saltykova V.G., Mitkova M.D. The Role of echography in the study of peripheral nerves of extremities. *Ultrasound and functional diagnostics*, 2011, No. 3, pp. 93–106 (In Russ.).]
 30. Гайворонский А.И., Журбин Е.А., Декан В.С., Железняк И.С., Алексеев Е.Д., Мартынов Б.В., Свистов Д.В. Интраоперационное ультразвуковое исследование в хирургии периферических нервов верхней конечности // *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2015. № 2 (50). С. 56–59. [Gaivoronsky A.I., Zhurbin E.A., Dekan V.S., Zheleznyak I.S., Alekseev E.D., Martynov B.V., Svistov D.V. Intraoperative ultrasonography in surgery of the peripheral nerves of the upper limb. *Bulletin of the Russian military medical Academy*, 2015, No. 2 (50), pp. 56–59 (In Russ.).]
 31. Чуловская И.Г. Скороглядов А.В., Еськин Н.А. и др. Возможности методов лучевой диагностики в визуализации периферических нервов предплечья и кисти // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н.Приорова*. 2008. С. 64–68. [Chulovskaya I.G., Skoroglyadov A.V., Eskin N.A. et al. Possibilities of radiological diagnostics methods in visualization of peripheral nerves of the forearm and hand. *Bulletin of traumatology and orthopedics named after N.N.Priorov*, 2008, pp. 64–68 (In Russ.).]
 32. Живолупов С.А., Самарцев И.Н., Рашидов Н.А. Токарева Д.В., Воробьева М.Н., Яковлев Е.В. Патогенетические формы заболеваний периферической нервной системы (дифференциальная диагностика, принципы лечения) // *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2013. № 3 (43). С. 1–6. [Zhivolupov S.A., Samartsev I.N., Rashidov N.A., Tokareva D.V., Vorobyova M.N., Yakovlev E.V. Pathogenetic forms of diseases of the peripheral nerves of the forearm and hand. *Bulletin of the Russian military medical Academy*, 2013, No. 43, pp. 1–6 (In Russ.).]
 33. Журбин Е.А., Гайворонский А.И., Железняк И.С., Декан В.С., Чуриков Л.И., Алексеев Е.Д., Алексеев Д.Е., Свистов Д.В. Диагностическая точность ультразвукового исследования при повреждениях периферических нервов конечностей // *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2017. № 3. С. 63–68. [Zhurbin E.A., Gaivoronsky A.I., Zheleznyak I.S., Dekan V.S., Churikov L.I., Alekseev E.D., Alekseev D.E., Svistov D.V. Diagnostic accuracy of ultrasound examination in injuries of peripheral nerves of limbs. *Bulletin of the Russian military medical Academy*, 2017, No. 3, pp. 63–68 (In Russ.).]
 34. Kalia V., Jacobson J.A. Imaging of Peripheral Nerves of the Upper Extremity // *Radiol. Clin. North Am*. 2019. Vol. 57, No. 5. P. 1063–1071. doi: 10.1016/j.rcl.2019.04.001.
 35. Yablon C.M., Hammer M.R., Morag Y., Brandon C.J., Fessell D.P., Jacobson J.A. US of the Peripheral Nerves of the Lower Extremity: A Landmark Approach // *Radiographics*. 2016. Vol. 36, No. 2. P. 464–478. doi: 10.1148/rg.2016150120.
 36. Visalli C., Cavallaro M., Concerto A., La Torre D., Di Salvo R., Mazziotti S., Salamone I. Ultrasonography of traumatic injuries to limb peripheral nerves: technical aspects and spectrum of features // *Japan J. Radiol*. 2018. Vol. 35, No. 10. P. 592–602. doi: 10.1007/s11604-018-0765-9.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 12.06.2020 г.

Авторский вклад в подготовку статьи:

Вклад в концепцию и дизайн исследования: И.И.Мажорова, Е.Ю.Трофимова, Л.Т.Хамидова, Р.С.Титов. Вклад в сбор и обработку данных: И.И.Мажорова. Вклад в статистическую обработку данных: И.И.Мажорова, П.Г.Евграфов. Вклад в подготовку рукописи: И.И.Мажорова, Е.Ю.Трофимова, Л.Т.Хамидова, Р.С.Титов, Ю.А.Боголюбовский, П.Г.Евграфов.

Сведения об авторах:

Мажорова Ирина Игоревна — научный сотрудник отделения ультразвуковых и функциональных методов исследований государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи имени Н.В.Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»; 129090, Москва, Б. Сухаревская пл., д. 3; ORCID 0000–0001–9109–0790; e-mail: shinycoin@yandex.ru;

Трофимова Елена Юрьевна — доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отделения ультразвуковых и функциональных методов исследований государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи имени Н.В.Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»; 129090, Москва, Б. Сухаревская пл., д. 3; ORCID 0000–0001–5002–0809; e-mail: yuiioffe@rambler.ru;

Хамидова Лайла Тимарбековна — кандидат медицинских наук, руководитель научного отделения ультразвуковых и функциональных методов исследований государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи имени Н.В.Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»; 129090, Москва, Б. Сухаревская пл., д. 3; ORCID 0000–0002–6299–4077; e-mail: layla72@mail.ru;

Титов Роман Сергеевич — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отделения неотложной травматологии опорно-двигательного аппарата государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи имени Н.В.Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»; 129090, Москва, Б. Сухаревская пл., д. 3; ORCID 0000–0002–2960–8736; e-mail: doctor-titoff@yandex.ru;

Боголюбовский Юрий Андреевич — научный сотрудник отделения неотложной травматологии опорно-двигательного аппарата государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи имени Н.В.Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»; 129090, Москва, Б. Сухаревская пл., д. 3; ORCID 0000–0002–1509–7082; e-mail: bo_y_an@mail.ru;

Евграфов Павел Геннадьевич — младший научный сотрудник научного отделения ультразвуковых и функциональных методов исследований государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи имени Н.В.Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»; 129090, Москва, Б. Сухаревская пл., д. 3; ORCID 0000–0003–2713–3498; e-mail: gembov@gmail.com.