

УДК 616.8-089
EDN: KESYLL
DOI: <https://doi.org/10.15275/ssmj1903245>

Клинический случай

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ С КОНТРАСТНЫМ УСИЛЕНИЕМ ПРИ СОЧЕТАННОМ ПОВРЕЖДЕНИИ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ НЕРВОВ И СОСУДОВ (КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ)

Ш. М. Айтемиров, С. П. Бажанов, И. Н. Щаницын, Л. А. Дегтярёва, Т. А. Бордюгова, В. С. Толкачев, С. Д. Шувалов, В. В. Островский

ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, Саратов, Россия

CONTRAST-ENHANCED ULTRASOUND IN COMBINED INJURIES OF PERIPHERAL NERVES AND VESSELS (CLINICAL CASE)

Sh. M. Aitemirov, S. P. Bazhanov, I. N. Shchanitsyn, L. A. Degtyareva, T. A. Bordyugova, V. S. Tolkachev, S. D. Shuvalov, V. V. Ostrovskiy

Saratov State Medical University, Saratov, Russia

Для цитирования: Айтемиров Ш. М., Бажанов С. П., Щаницын И. Н., Дегтярёва Л. А., Бордюгова Т. А., Толкачев В. С., Шувалов С. Д., Островский В. В. Применение ультразвукового исследования с контрастным усилением при сочетанном повреждении периферических нервов и сосудов (клинический случай). Саратовский научно-медицинский журнал. 2023; 19 (3): 245–250. EDN: KESYLL. DOI: <https://doi.org/10.15275/ssmj1903245>

Аннотация. Нами представлен клинический случай применения ультразвукового исследования (УЗИ) с контрастным усилением (contrast-enhanced ultrasound/CEUS) в хирургии сочетанной травмы сосудов и нервов. Данный клинический случай демонстрирует возможности CEUS дифференцировать компрессионно-ишемическую нейропатию на фоне периневрального фиброза от внутриствольной невromы и полного анатомического перерыва срединного и локтевого нервов. Кроме того, CEUS помогло уточнить сосудистое поражение — была выявлена ложная аневризма локтевой и окклюзия лучевой артерии. Соответственно, использование CEUS повлияло на тактику хирургического лечения. Этот метод позволяет расширить диагностические возможности при повреждении нервов, и, учитывая дальнейший технический прогресс, обладает большим клиническим потенциалом.

Ключевые слова: повреждение периферического нерва, ультрасонография с контрастным усилением, нейропатия, аневризма артерии

For citation: Aitemirov ShM, Bazhanov SP, Shchanitsyn IN, Degtyareva LA, Bordyugova TA, Tolkachev VS, Shuvalov SD, Ostrovskiy VV. Contrast-enhanced ultrasound in combined injuries of peripheral nerves and vessels (clinical case). Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2023; 19 (2): 245–250. EDN: KESYLL. DOI: <https://doi.org/10.15275/ssmj1903245> (In Russ.)

Abstract. We present a case of contrast-enhanced ultrasound (CEUS) used in surgery for blood vessels and nerves combined trauma. This case reveals CEUS potential in differentiation of compression-ischemic neuropathy along with perineural fibrosis from intrastem neuroma and complete anatomical interruption of the median and ulnar nerves. CEUS also helped to clarify the vascular lesion — we detected a false ulnar aneurysm and radial artery occlusion. Therefore, the use of CEUS has influenced the surgical management. This method allows expanding the potential for nerve damage diagnostics, and, given further technical progress, has great clinical prospects.

Keywords: peripheral nerve injury, contrast-enhanced ultrasonography, neuropathy, arterial aneurysm

Введение. Ультразвуковое исследование (УЗИ) с контрастным усилением (contrast-enhanced ultrasound — CEUS) является относительно новым методом, применяемым преимущественно в онкологии, эхокардиографии, гепатологии, уронефрологии,

акушерстве и гинекологии, артрологии [1–3]. Есть работы, посвященные применению CEUS при патологии сосудов [4]. Методика CEUS заключается во внутривенном введении микропузырьков, которые циркулируют по всей сосудистой сети в течение 3–6 мин. Микропузырьки действуют как резонаторы в диапазоне 1–15 МГц, значительно увеличивая коэффициент рассеивания, в том числе за счет повторного отражения ультразвука нелинейным образом.

Ответственный автор — Шамиль Малачиляевич Айтемиров
Corresponding author — Shamil M. Aitemirov
Тел.: +7 (918) 7310303
E-mail: drkbru@mail.ru

Несколько исследований показали успешное использование CEUS для количественной оценки изменения перфузии поврежденных периферических нервов [1, 5–7]. При этом показана высокая воспроизводимость результатов CEUS при работе одного оператора, между разными исследователями и между разными исследованиями [8]. CEUS представляется перспективным диагностическим инструментом при опухолях периферических нервов, приобретенной демиелинизирующей сенсорной и моторной полинейропатии, в оценке регенерации нерва после травмы или операции [9], при всем том исследований в этой области крайне мало, поэтому мы решили описать опыт применения нами УЗИ с контрастированием при сочетанной травме периферических нервов и артерий.

Целью публикации является демонстрация возможности CEUS при уточнении поражения периферических нервов и сосудов.

Получено письменное информированное согласие от пациента на публикацию данных из истории болезни и результатов инструментальных методов исследования.

Описание клинического случая. Пациент И., 1993 г. рождения, поступил в отделение нейрохирургии НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России в октябре 2022 г. с жалобами на онемение и выраженную слабость активного сгибания пальцев левой кисти, онемение левой кисти, нарушение хвата. Со слов больного и предоставленной первичной документации он получил минно-взрывное ранение в зоне СВО в июле 2022 г. Первичная хирургическая обработка проведена в г. Луганске, повторная хирургическая обработка раны — в ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. акад. Н.Н. Бурденко» Минздрава России, где диагностирована травматическая окклюзия лучевой артерии на уровне средней трети предплечья. Пациент сразу же при ранении отметил слабость и онемение в левой кисти. Консервативное лечение по месту жительства эффекта не имело.

При осмотре в области нижней трети левого предплечья определяется симптом Тинеля с иррадиацией в 1-3-4-5-й пальцы левой кисти. Из двигательных нарушений определялась слабость активного сгибания пальцев левой кисти. Из чувствительных нарушений выявлена аналгезия по срединному и локтевому нервам в левой кисти. В нижней трети левого предплечья имеются рубцы от входного и выходного отверстий (рис. 1).

При электронейромиографии (ЭНМГ) показатели моторного ответа срединного нерва при стимуляции не выделены. С локтевого нерва М-ответ не превышает 0,1 мВ. При стимуляции лучевого нерва М-ответ значительно снижен по амплитуде, скорость проведения импульса (СПИ) в норме. При игольчатой электромиографии в мышцах предплечья в зоне иннервации локтевого нерва регистрирована произвольная активность положительных острых волн. В мышцах тенара и гипотенара активные потенциалы фибрилляций положительных острых волн, потенциалы двигательных единиц не выделены. Таким образом, по данным ЭНМГ выявлены признаки полного поражения левого срединного и локтевого нервов с уровня нижней трети левого предплечья, глубокие активные денервационные процессы в мышцах кисти.

По данным УЗИ (Samsung Medison HS70, линейный датчик 3–16 МГц, апертура 40 мм) выявлена

окклюзия левой лучевой артерии, ложная посттравматическая аневризма левой локтевой артерии на уровне средней трети предплечья размером 8,7×6,0 мм. Для уточнения диагноза и степени повреждения нервов выполнено УЗИ с контрастированием. Применяли контрастный препарат второго поколения «Соновью» (SonoVue, Bracco Imaging S. p. A., Италия). Он представляет собой гетерогенную фосфолипидную систему, содержащую микропузырьки газа — гексафторида серы, стабилизированные фосфолипидной оболочкой и обладающие временем эхоконтрастного усиления в течение 8 мин. Сухой порошок с контрастом смешивали с 5 мл физиологического раствора (0,9%-го хлорида натрия) до получения однородной молочно-белой взвеси микропузырьков гексафторида серы.

При стандартном УЗИ выявлено уменьшение диаметра срединного нерва с неровностью и нечеткостью контура наружной оболочки в области травмы, что может быть признаком частичного разрыва нерва, внутриствольной невромы (рис. 2). Применение УЗИ с контрастным усилением (через 3 мин. после внутривенного введения одной ампулы «Соновью», 8 МГц) позволило выявить уменьшение диаметра нерва в месте компрессии и умеренное усиление васкуляризации неповрежденного наружного контура нерва в области компрессии с усилением интраневральной васкуляризации проксимальнее места рубцовой компрессии (рис. 2). Таким образом, при контрастном УЗИ удалось уточнить степень повреждения срединного нерва: не частичный разрыв с формированием внутриствольной невромы, а компрессионно-ишемическая нейропатия на фоне периневрального фиброза.

При УЗИ также заподозрен частичный разрыв локтевого нерва с формированием внутриствольной невромы (рис. 3А), однако при УЗИ с контрастным усилением выявлены признаки компрессионной нейропатии без повреждения наружного контура нерва: умеренное усиление васкуляризации наружного контура нерва в области компрессии и интраневральной



Рис. 1. Визуальная и рентгенографическая картина поврежденной конечности: А — рубцы после ранения, первичной и повторной хирургических обработок раны; Б — рентгенограмма со множественными мелкими инородными телами металлической плотности в мягких тканях средней трети предплечья

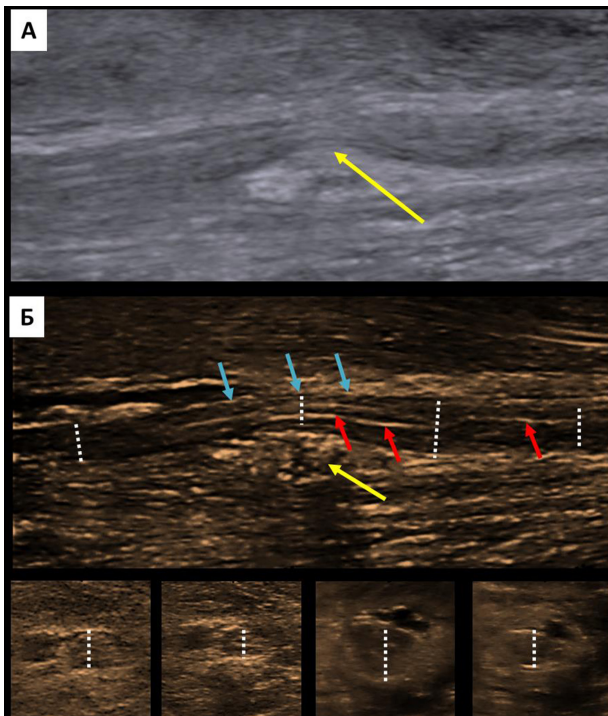


Рис. 2. Результат УЗ-исследования срединного нерва:
А — без контрастного усиления; Б — с контрастным усилением.
Желтая стрелка — срединный нерв, красная стрелка — усиление интраневральной васкуляризации, голубая стрелка — усиление васкуляризации наружного контура нерва

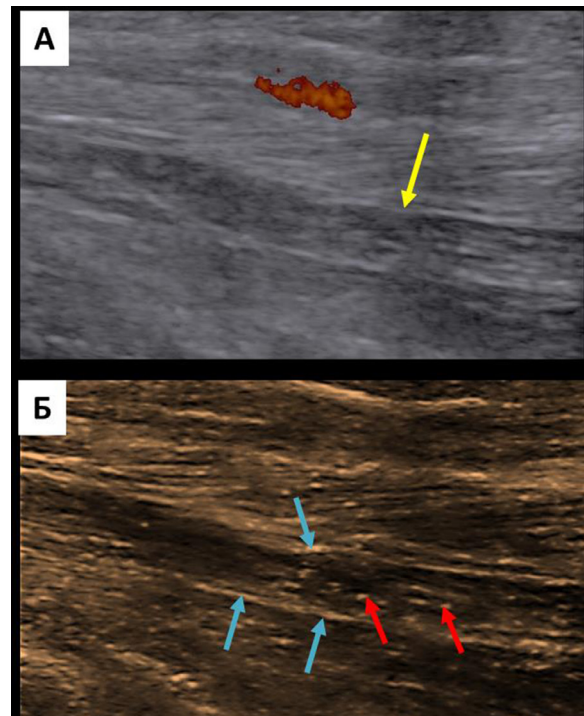


Рис. 3. Результаты УЗ-исследования локтевого нерва:
А — без контрастного усиления; Б — с контрастным усилением.
Желтая стрелка — локтевой нерв, красная стрелка — усиление интраневральной васкуляризации, голубая стрелка — усиление васкуляризации наружного контура нерва

васкуляризации проксимальнее места компрессии (рис. 3Б).

На рис. 4 представлены данные УЗИ локтевой артерии в В-режиме, режиме цветового доплеровского картирования и при контрастном усилении. Результаты УЗИ с контрастированием (1 мин. после внутривенного введения одной ампулы «Соновью», 8 МГц) подтвердили наличие ложной аневризмы локтевой артерии (8,7×6,0 мм), проходимость локтевой артерии, отсутствие артериовенозного сброса в области аневризмы, а также окклюзию лучевой артерии.

В итоге пациенту выставлен диагноз «Последствия минно-взрывной травмы. Сочетанная травма. Посттравматическая компрессионно-ишемическая нейропатия срединного и локтевого нервов в средней трети левого предплечья с полным нарушением проводимости. Ложная аневризма левой локтевой артерии. Окклюзия левой лучевой артерии». Выполнена операция: ревизия, невролиз срединного и локтевого нервов в средней трети левого предплечья под нейрофизиологическим контролем, имплантация эпинеуральных электродов на срединный и локтевой нервы для прямой электронейростимуляции в послеоперационный период. Иссечение ложной аневризмы левой локтевой артерии со швом артерии «конец-в-конец».

Под интубационным наркозом выделены срединный и локтевой нервы. Произведен невролиз — анатомическая целостность ствола нервов не нарушена, последние вмурованы в плотную рубцовую ткань. Проведен нейрофизиологический контроль, при котором выявлен частичный блок проведения импульсов. Произведен тщательный невролиз обоих нервов. Нервы после невролиза лежат свободно.

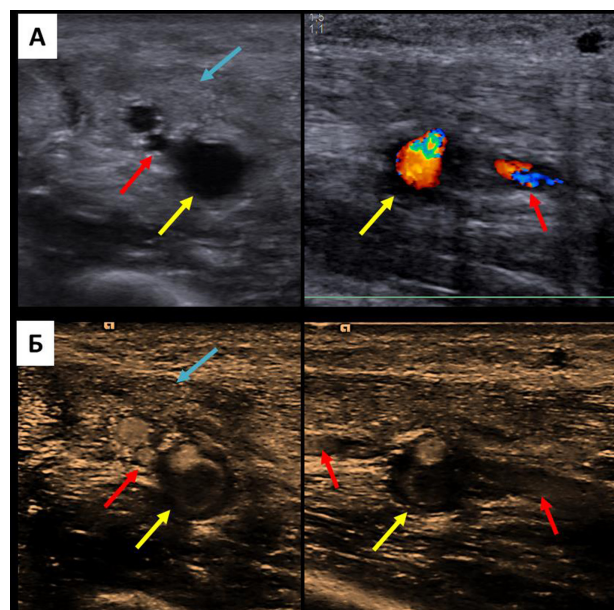


Рис. 4. Результаты УЗ-исследования локтевых артерий и нерва:
А — локтевая артерия в поперечном сечении в В-режиме (слева) и в продольном сечении — в режиме цветового доплеровского картирования (справа); Б — результаты УЗ-исследования локтевых артерий и нерва с контрастным усилением. Красная стрелка — локтевая артерия, желтая стрелка — ложная аневризма локтевой артерии, голубая стрелка — локтевой нерв

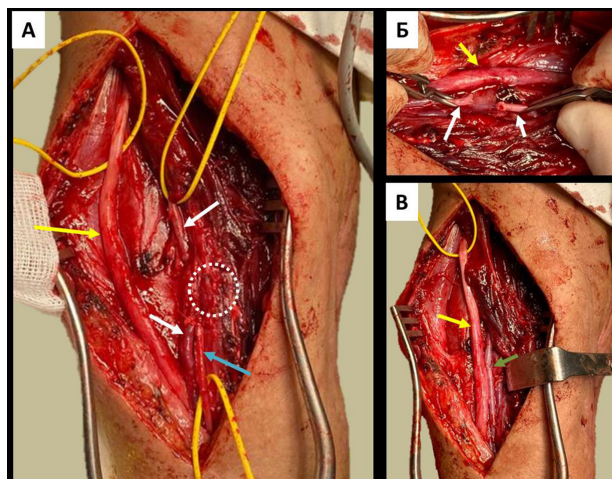


Рис. 5. Интраоперационные фотографии:

А — выделен срединный нерв (желтая стрелка), локтевой нерв (голубая стрелка), проксимальный и дистальный отрезки локтевой артерии (белые стрелки), аневризма локтевой артерии в рубцовых тканях (пунктирная линия); Б — наложение анастомоза по типу «конец-в-конец» между проксимальным и дистальным концами локтевой артерии; В — окончательный вид после невролиза и наложения анастомоза локтевой артерии (зеленая стрелка)

Выделена локтевая артерия, иссечена ложная аневризма, наложен шов локтевой артерии «конец-в-конец» (рис. 5).

Уже в ранний послеоперационный период отмечена положительная динамика со стороны неврологического статуса в виде частичного регресса чувствительных нарушений по срединному нерву. По данным ЭНМГ, через 7 дней после операции при стимуляции локтевого нерва на уровне подмышечной впадины с электродов регистрируются вызванные потенциалы (ВП) амплитудой 10 мкВ. С гипотенара М-ответ — 0,15 мВ (без отрицательной динамики). При стимуляции срединного нерва в подмышечной впадине с электродов регистрируется ВП амплитудой 7 мкВ. Получить М-ответ не удалось. Данные исследования характерны для восстановления частичной проводимости срединного и локтевого нервов на уровне предплечья. При осмотре через 9 мес. после операции имеется полное восстановление нарушенной проводимости по срединному и локтевому нервам в виде регресса чувствительных нарушений и восстановления хвата кисти.

Обсуждение. В последние годы УЗИ стало широко применяться для диагностики поражения периферических нервов. Проведенные исследования показали его высокую чувствительность при травматическом повреждении нервов, и даже определенные преимущества перед ЭНМГ и магнитно-резонансной томографией. Технические возможности УЗИ позволяют установить характер повреждения нерва: полный (невротмезис) и/или неполный перерыв нерва (нейропраксия или аксонотмезис), наличие и расположение проксимальной и дистальной культы нерва, отек аксонов, наличие рубцового процесса (фиброза), гематомы и инородного тела, невромы [10, 11]. При этом результаты УЗИ часто ставят перед необходимостью менять хирургическую тактику, особенно при опухолях, посттравматических или послеоперационных невропатиях [12]. Чувствительность предоперационного УЗИ при травме периферического нерва, по данным разных авторов, составляет 76–96,7%, а специфичность — 50–99,5% [11, 13].

В частности, CEUS в настоящий момент активно применяют в онкологии, эхокардиографии, гепатологии, ангиологии, уронефрологии, артрологии, акушерстве и гинекологии [1, 2]. CEUS также используется в различных областях нейрохирургии и неврологии как в качестве интраоперационного, так и прикроватного инструмента, включая черепно-мозговую и спинальную онкологию, сосудистую нейрохирургию, при инсульте и черепно-мозговой травме [14]. Однако исследований, посвященных применению CEUS при повреждении периферических нервов, крайне мало (таблица).

В таблице представлены практически все опубликованные клинические работы по применению CEUS при поражении периферических нервов. В большинстве своем это пока только клинические случаи или исследования на здоровых добровольцах. Согласно выводам, которые делают авторы работ, CEUS позволяет качественно и количественно оценивать пери- и интраневральные кровотоки [6, 8]. В настоящее время проявление любого внутриневрального кровотока считается патологическим состоянием, выявляемым при компрессионной нейропатии, хронической воспалительной демиелинизирующей полинейропатии, лепре и некоторых опухолях оболочки нервов. Кроме того, в моделях на животных было показано, что развитие сосудистой сети — ключевой элемент регенерации нерва [19], что подтверждают и клинические работы с применением CEUS [17].

В нескольких исследованиях с помощью CEUS проведена оценка изменений перфузии крови при синдроме карпального и кубитального каналов [5, 6, 16, 17]. Согласно этим работам средние показатели интраневрального кровотока при компрессии были значительно выше, чем в контрольной группе, тем не менее не выявлено четкой связи между степенью васкуляризации при УЗИ с контрастным усилением и результатами ЭНМГ [6]. Повышение периневральной васкуляризации можно объяснить вторичным ответом на локальное воспаление или компрессию рубцовыми тканями [7]. Таким образом, повышение внутриневрального кровотока при CEUS может служить новым дополнительным диагностическим инструментом и показателем оценки послеоперационного восстановления нерва. В представленном нами клиническом случае УЗИ с контрастированием позволило не только выявить сохранность наружного контура нерва, но и усиление пери- и интраневральной васкуляризации в области компрессии.

В экспериментальных работах с раздавленным нервом, наоборот, показано уменьшение интраневральной перфузии. В исследовании 2020 г. Y. Zhu и соавт. при размозжении седалищного нерва снижение кровотока объяснили уменьшением числа регенерированных микрососудов, что подтверждалось при помощи иммунофлуоресцентного окрашивания [20].

Систематический обзор 2020 г. G. M. Della Pera и соавт. [14], посвященный применению CEUS в нейрохирургии, включает только две статьи про патологию периферических нервов [9, 15]. Последние две работы и клинический случай, опубликованный в 2022 г. Z. Q. Yuan и соавт. [9, 15, 18], посвящены возможности применения CEUS при дифференциальной диагностике опухолей периферических нервов.

Как показали предыдущие исследования [6, 8, 17] и наш клинический случай, CEUS — удобный, безопасный и воспроизводимый метод. При исходной ЭНМГ картине полного блока проводимости (невротмезис), CEUS позволил уточнить диагноз рубцовой

**Опубликованные клинические работы по применению CEUS
при поражении периферических нервов (2012–2022 гг.)**

Авторы, год	Тип исследования	Модель	Вывод
Loizides A., et al. (2012) [15]	Клиническое	Опухоли периферических нервов	CEUS может служить новым и надежным диагностическим инструментом для дифференциации злокачественных и доброкачественных образований мягких тканей
Ishizaka K., et al. (2014) [8]	Исследование на здоровых добровольцах	Срединный нерв	Показана высокая воспроизводимость CEUS у одного исследователя, между исследователями и между исследованиями при оценке внутринервного усиления кровотока срединного нерва
Pedro M. T., et al. (2015) [9]	Клиническое исследование	Опухоли периферических нервов	Мультимодальное интраоперационное УЗИ представляется многообещающим диагностическим инструментом для дифференциации опухолей периферических нервов и опухолеподобных поражений
Motomiya M., et al. (2016) [5]	Клиническое («случай – контроль»)	Срединный нерв	Результаты позволяют предположить, что внутринервный кровоток значительно увеличивается в срединном нерве у пациентов с синдромом карпального канала
Volz K. R., et al. (2016) [6]	Исследование на здоровых добровольцах	Срединный нерв	CEUS может использоваться для визуализации васкуляризации срединного нерва
Qureshi A. I., et al. (2017) [7]	Серия случаев	Срединный, бедренный и седалищный нервы	CEUS позволяет идентифицировать vasa nervorum вокруг нервов
Motomiya M., et al. (2018) [16]	Клиническое («случай – контроль»)	Срединный нерв	Увеличение кровотока в субсинвиальной соединительной ткани в ранний послеоперационный период может играть роль в изменении микроциркуляции в срединном нерве у пациентов с синдромом карпального канала, что может влиять на регенерацию нерва
Della Pepa G. M., et al. (2020) [14]	Систематический обзор	67 статей по применению CEUS в нейрохирургии	CEUS в последние годы достиг широкого применения в различных областях нейрохирургии, в основном в нейроонкологии
Matsui Y., et al. (2022) [17]	Клиническое («случай – контроль»)	Локтевой нерв	Повышенное сгибание в локтевом суставе у пациентов с синдромом кубитального канала влияет на внутринервный кровоток локтевого нерва. Операция по поводу синдрома кубитального канала изменяет внутринервный кровоток. Количественная оценка внутринервного кровотока локтевого нерва с помощью CEUS может быть новым дополнительным диагностическим инструментом и показателем оценки послеоперационного восстановления нерва
Yuan Z. Q., et al. (2022) [18]	Клинический случай	Неврома желчного протока	CEUS позволяет отличить травматические невромы от злокачественных поражений внепеченочных желчных путей

компрессионно-ишемической нейропатии срединного нерва и локтевого нервов и избежать нейрорафии.

В сосудистой хирургии CEUS применяется для уточнения диагноза псевдо- и истинной окклюзии артерии, а также для оценки неоваскуляризации бляшки в сонной артерии [2, 4]. В нашем случае УЗИ с контрастированием дополнительно подтвердило наличие ложной аневризмы локтевой артерии и окклюзию лучевой артерии, позволило уточнить отсутствие повреждения вен и артериовенозного сброса. Таким образом, при сложных травмах конечностей CEUS позволяет не только уточнить патологию периферических нервов, но и дает дополнительную информацию о состоянии сосудов.

Заключение. Очевидно, что метод УЗИ с контрастированием пока только пытается занять «нишу» в диагностике повреждений периферических нервов, отрабатывается методика, накапливаются новые данные. Опыт применения CEUS в рутинной клинической практике во многих клиниках при эхокардиографии, диагностике патологии печени, в онкологии делает реальной возможность быстрого перехода с экспериментальных моделей в клиническую практику

и в нейрохирургии. Применение CEUS в сочетании с сверхвысокочастотным УЗИ путем локализации отдельных микропузырьков позволило улучшить разрешающую способность метода в 10 раз. В настоящее время эта методика уже применяются доклинически и клинически для визуализации микроциркуляторного русла головного мозга, почек, кожи, опухолей, лимфатических узлов, оценки хронической воспалительной полинейропатии и спинальной мышечной атрофии. УЗИ с контрастированием является относительно новой методикой, позволяющей улучшить диагностические возможности при повреждении нервов, и, учитывая дальнейший технический прогресс, обладает большим клиническим потенциалом.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References (Список литературы)

1. Carroll AS, Simon NG. Current and future applications of ultrasound imaging in peripheral nerve disorders. World J Radiol. 2020; 12 (6): 101–129. DOI: 10.4329/wjr. v12. i6.101

2. Mironova OYu, Isaikina MA, Isaev GO, et al. Contrast-enhanced ultrasound: history, application and perspectives. *Terapevticheskii arkhiv*. 2023; 95 (4): 360–364. (In Russ.) Миронова О.Ю., Исаякина М.А., Исаев Г.О., Бердышева М.В., Фомини В.В. Ультразвуковые исследования с контрастированием: история, применение в практике и перспективы. *Терапевтический архив*. 2023; 95 (4): 360–364. DOI: 10.26442/0403660.2023.04.202157
3. Christensen-Jeffries K, Couture O, Dayton PA, et al. Super-resolution ultrasound imaging. *Ultrasound Med Biol*. 2020; 46 (4): 865–891. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2019.11.013
4. Timina IE, Kalinin DV, Chehova OA, Karmazanovsky GG. Contrast-enhanced ultrasound imaging atherosclerotic plaque in carotid arteries (Literature review and first experience). *Medical Visualization*. 2015; (1): 126–132. (In Russ.) Тимина И.Е., Калинин Д.В., Чехова О.А., Кармазановский Г.Г. Ультразвуковое исследование атеросклеротической бляшки в сонных артериях с использованием контрастного препарата (обзор литературы и первый опыт применения). *Медицинская визуализация*. 2015; (1): 126–132.
5. Motomiya M, Funakoshi T, Iwasaki N. Intraneural microvascular patterns of the median nerve assessed using contrast-enhanced ultrasonography in carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg Eur Vol*. 2016; 41 (2): 229–231. DOI: 10.1177/1753193415570222
6. Volz KR, Evans KD, Kanner CD, Dickerson JA. Detection of Intraneural Median Nerve Microvasculature Using Contrast-Enhanced Sonography: A Pilot Study. *J Ultrasound Med*. 2016; 35 (6): 1309–1316. DOI: 10.7863/ultra.15.07012
7. Qureshi AI, Saleem MA, Ahrar A, Raja F. Imaging of the Vasa Nervorum Using Contrast-Enhanced Ultrasound. *J Neuroimaging*. 2017; 27 (6): 583–588. DOI: 10.1111/jon.12429
8. Ishizaka K, Nishida M, Motomiya M, et al. Reliability of peripheral intraneural microhemodynamics evaluation by using contrast-enhanced ultrasonography. *J Med Ultrason*. 2014; 41 (4): 481–486. DOI: 10.1007/s10396-014-0533-0
9. Pedro MT, Antoniadis G, Scheuerle A, et al. Intraoperative high-resolution ultrasound and contrast-enhanced ultrasound of peripheral nerve tumors and tumorlike lesions. *Neurosurg Focus*. 2015; 39 (3): E5. DOI: 10.3171/2015.6.FOCUS15218
10. Omejec G, Podnar S. Contribution of ultrasonography in evaluating traumatic lesions of the peripheral nerves. *Neurophysiol Clin*. 2020; 50 (2): 93–101. DOI: 10.1016/j.neucli.2020.01.007
11. Endo Y, Sivakumaran T, Lee SC, et al. Ultrasound features of traumatic digital nerve injuries of the hand with surgical confirmation. *Skeletal Radiol*. 2021; 50 (9): 1791–1800. DOI: 10.1007/s00256-021-03731-w
12. Toia F, Gagliardo A, D'Arpa S, et al. Preoperative evaluation of peripheral nerve injuries: What is the place for ultrasound? *J Neurosurg*. 2016; 125 (3): 603–614. DOI: 10.3171/2015.6.JNS151001
13. Zhurbin EA, Gajvoronskij AI, Dekan VS, et al. Diagnostic efficiency of ultrasound research in damage of peripheral nerves. *Russian neurosurgical journal named after professor A. L. Polenov*. 2019; 11 (1): 23–29. (In Russ.) Журбин Е.А., Гайворонский А.И., Декан В.С., Железняк И.С., Чуриков Л.И., Исаев Д.М., Алексеев Е.Д., Свистов Д.В. Диагностическая эффективность ультразвукового исследования при повреждении периферических нервов. *Российский нейрохирургический журнал им. проф. А.Л. Поленова*. 2019; 11 (1): 23–29.
14. Pepa GM Della, Menna G, Ius T, et al. Contrast enhanced ultrasound (CEUS) applications in neurosurgical and neurological settings — New scenarios for brain and spinal cord ultrasonography. A systematic review. *Clin Neurol Neurosurg*. 2020; 198; 106105. DOI: 10.1016/j.clineuro.2020.106105
15. Loizides A, Peer S, Plaikner M, et al. Perfusion pattern of musculoskeletal masses using contrast-enhanced ultrasound: a helpful tool for characterisation? *Eur Radiol*. 2012; 22 (8): 1803–11. DOI: 10.1007/s00330-012-2407-4
16. Motomiya M, Funakoshi T, Ishizaka K, et al. Blood Flow Changes in Subsynovial Connective Tissue on Contrast-Enhanced Ultrasonography in Patients With Carpal Tunnel Syndrome Before and After Surgical Decompression. *J Ultrasound Med*. 2018; 37 (7): 1597–1604. DOI: 10.1002/jum.14500
17. Matsui Y, Horie T, Funakoshi T, et al. Dynamic Evaluation of Intraneural Microvasculature of the Ulnar Nerve Using Contrast-Enhanced Ultrasonography in Patients With Cubital Tunnel Syndrome. *J Hand Surg Am*. 2022; 47 (7): 687. e1–687.e8. DOI: 10.1016/j.jhsa.2021.06.024
18. Yuan ZQ, Yan HL, Li JW, Luo Y. Contrast-enhanced ultrasound of a traumatic neuroma of the extrahepatic bile duct: A case report and review of literature. *World J Gastroenterol*. 2022; 28 (30): 4211–4220. DOI: 10.3748/wjg.v28.i30.4211
19. Arányi Z, Csillik A, Dévay K, Rosero M. Ultrasonographic demonstration of intraneural neovascularization after penetrating nerve injury. *Muscle Nerve*. 2018; 57 (6): 994–999. DOI: 10.1002/mus.26065
20. Zhu Y, Jin Z, Luo Y, et al. Evaluation of the Crushed Sciatic Nerve and Denervated Muscle with Multimodality Ultrasound Techniques: An Animal Study. *Ultrasound Med Biol*. 2020; 46 (2): 377–392. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2019.10.004

Статья поступила в редакцию 13.06.2023; одобрена после рецензирования 18.08.2023; принята к публикации 11.09.2023. The article was submitted 13.06.2023; approved after reviewing 18.08.2023; accepted for publication 11.09.2023.

Информация об авторах

Айтеев Шамиль Малачильевич — врач-нейрохирург нейрохирургического отделения НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, drkbru@mail.ru, ORCID 0000 0002 8889 5851; **Бажанов Сергей Петрович** — начальник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, доктор медицинских наук, baj.s@mail.ru, ORCID 0000 0001 9474 9095; **Щаницын Иван Николаевич** — старший научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии, кандидат медицинских наук НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, dr.green@list.ru, ORCID 0000 0003 0565 517; **Бордюгова Татьяна Александровна** — врач УЗИ отделения функциональной и ультразвуковой диагностики НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, кандидат медицинских наук, uzi2006t@gmail.ru, ORCID 0000 0003 2410 4309; **Дегтярёва Людмила Александровна** — врач УЗИ отделения функциональной и ультразвуковой диагностики НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, guga-85@mail.ru, ORCID 0009 0000 4704 0518; **Толкачев Владимир Сергеевич** — младший научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, vladimir.tolkachev@yandex.ru, ORCID 0000 0001 6580 4403; **Шувалов Станислав Дмитриевич** — врач-нейрохирург нейрохирургического отделения НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, shuvalov.stan@yandex.ru, ORCID 0000 0002 8095 9398; **Островский Владимир Владимирович** — директор НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, доктор медицинских наук, ostrw@mail.ru, ORCID 0000 0002 8602 2715.

Information about authors

Shamil M. Aitemirov — Neurosurgeon, Neurosurgery Department, Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, drkbru@mail.ru, ORCID 0000 0002 8889 5851; **Sergey P. Bazhanov** — Head of the Department of Innovative Projects for Neurosurgery and Vertebrology, Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, DSc, baj.s@mail.ru, ORCID 0000 0001 9474 9095; **Ivan N. Shchanitsyn** — Senior Researcher, Department of Innovative Projects for Neurosurgery and Vertebrology, Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, PhD, dr.green@list.ru, ORCID 0000 0003 0565 517; **Tatyana A. Bordyugova** — Ultrasonographer, Department of Functional and Ultrasonic Diagnostics, Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, PhD, uzi2006t@gmail.ru, ORCID 0000 0003 2410 4309; **Lyudmila A. Degtyaryova** — Ultrasonographer, Department of Functional and Ultrasonic Diagnostics, Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, guga-85@mail.ru, ORCID 0009 0000 4704 0518; **Vladimir S. Tolkachev** — Junior Researcher, Department of Innovative Projects for Neurosurgery and Vertebrology, Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, vladimir.tolkachev@yandex.ru, ORCID 0000 0001 6580 4403; **Stanislav D. Shuvalov** — Neurosurgeon, Neurosurgery Department, Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, shuvalov.stan@yandex.ru, ORCID 0000 0002 8095 9398; **Vladimir V. Ostrovskij** — Director, Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, DSc, ostrw@mail.ru, ORCID 0000 0002 8602 2715.