

ВОЗМОЖНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ В ОЦЕНКЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ НЕРВОВ НА АМПУТИРОВАННЫХ КОНЕЧНОСТЯХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОГНЕСТРЕЛЬНОЙ ТРАВМЫ

Гумерова Э.А.¹, Дубровских С.Н.¹, Татарина А.В.¹, Степанова Ю.А.²

1 – ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий – Центральный военный клинический госпиталь им. А.А. Вишневого» Минобороны России. г. Красногорск, Россия.

2 – ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневого» МЗ РФ. г. Москва, Россия.

Цель исследования. Определить возможности ультразвукового метода исследования в оценке структурных изменений концов периферических нервов, выявлении терминальных невром у пациентов после ампутации конечностей при огнестрельной травме.

Материалы и методы. Обследованы 86 пациентов с ампутациями верхних и нижних конечностей на различных уровнях, а также с ампутацией пальца кисти, находившихся на лечении в ФГБУ «НМИЦ ВМТ им. А.А. Вишневого» Министерства обороны России с марта 2022 г. по сентябрь 2024 г. Все пострадавшие мужчины в возрасте от 20 до 57 лет. Причина ампутации – огнестрельная травма (ОТ). Всем пациентам было выполнено УЗИ периферических нервов конечности, подвергшейся ампутации, по стандартной методике линейным датчиком 7-17 МГц в В-режиме и с использованием цветного доплеровского картирования (ЦДК). Показанием к исследованию явились боли различной интенсивности в культе. Всего для оценки структурных изменений осмотрены 219 нервов, из них 181 – проксимальные концы. Давность получения огнестрельной травмы составила от 11 до 405 дней, оперативного вмешательства – от 3 до 355 дней. В процессе сканирования оценивали анатомическую целостность периферического нерва с определением площади поперечного сечения (ППС), его контуры, эхоструктуру, наличие терминальных невром (ТН) с определением ППС последних, инородных тел (металлических осколков) в мягких тканях, вовлечение проксимального конца нерва в рубец, наличие гематом и иных патологических образований в мягких тканях культи конечности.

Результаты. Проведена оценка состояния концов периферических нервов на ампутированных конечностях у пациентов с огнестрельной травмой с выделением трех основных групп структурных изменений (n=181): 1 группу (n=110, 61%) составили структурные изменения без достоверных признаков терминальных невром; 2 группу (n=45, 25%) составили структурные изменения с терминальными невромами; 3 группу (n=26, 14%) составили структурные изменения с «потенциальной» (формирующейся) терминальной невромой. Определена частота встречаемости каждой из групп и взаимосвязь с уровнем ампутации, показаны сроки выявления терминальных невром. Выявлены патологические изменения, вызывающие болевой синдром, приводящий к выраженному снижению качества жизни пациентов, затрудняющий раннее протезирование и восстановление функции конечности. Показана эффективность ультразвукового метода диагностики у данной категории пациентов.

Обсуждение. В отличие от травм периферических нервов в быту, выявленные терминальные невром у пациентов после ампутации при огнестрельной травме в 100% случаев сопровождалась структурными изменениями проксимального конца нерва. Определена корреляция результатов исследования с данными авторов научных статей по освещаемой проблеме, в результате чего подтверждается положительная взаимосвязь между давностью травмы и ППС терминальной невром. Также подтвержден тот факт, что ППС терминальной невром в 2 и более раза превышает ППС конца нерва проксимальнее. Наличие металлических осколков в теле пациентов данной группы является препятствием для выполнения магнитно-резонансной томографии (МРТ), что выводит ультразвуковой метод на первое место в диагностике данной патологии с массой преимуществ в виде неинвазивности метода, отсутствия лучевой нагрузки, возможности неограниченного количества исследований в динамике.

Заключение. Ультразвуковое исследование – эффективный метод выявления терминальных невром, как потенциальных причин болевого синдрома у пациентов после

ампутации конечности при огнестрельной травме. Для диагностики терминальных невром концов периферических нервов ампутированных конечностей УЗИ следует проводить не ранее, чем через 31 день от момента оперативного вмешательства.

Эхографическими критериями терминальной невромы, подлежащей оперативному вмешательству (иссечению), являются: сформированная терминальная неврома, превышающая по площади поперечного сечения конец нерва в 2 и более раза, выраженная локальная болезненность при компрессии датчиком в области выявленной терминальной невромы.

Ключевые слова: УЗИ периферических нервов, терминальная неврома, повреждение периферического нерва, огнестрельная травма.

Контактный автор: Гумерова Э.А., e-mail: elmiragumerova1992@yandex.ru

Для цитирования: Гумерова Э.А., Дубровских С.Н., Татарина А.В., Степанова Ю.А. Возможности ультразвуковой диагностики в оценке структурных изменений периферических нервов на ампутированных конечностях в результате огнестрельной травмы. REJR 2025; 15(1):150-166. DOI: 10.21569/2222-7415-2025-15-1-150-166.

Статья получена: 16.12.24

Статья принята: 03.03.25

POSSIBILITIES OF ULTRASONIC DIAGNOSTICS IN ASSESMENT OF STRUCTURAL CHANGES OF PERIPHERAL NERVES IN AMPUTATED LIMBS IN CASE OF GUNSHOT INJURY

Gumerova E.A.¹, Dubrovskih S.N.¹, Tatarina A.V.¹, Stepanova Y.A.²

1 - National medical research center for high medical technologies, A.A. Vishnevsky Central military clinical hospital. Krasnogorsk, Russia.

2 - A.V. Vishnevsky National Medical Research Center for Surgery. Moscow, Russia.

Purpose. To identify the capabilities of the ultrasound in assessing structural changes in the terminal parts of peripheral nerves and identifying terminal neuromas after limb amputation in case of gunshot injury.

Materials and methods. We have examined 86 patients with amputations of the upper and lower limbs at various levels, and with amputation of a finger, who were treated in the FSBI "A.A. Vishnevsky NMRC for HMT" of the Ministry of Defense of Russian Federation during the period from March, 2022 to September, 2024. All injured are men aged from 20 to 57 years. Amputations were caused by a gunshot injury (GI). Ultrasound examination of the peripheral nerves of the amputated limbs was performed for all patients using a standard technique and a linear sensor 7-17 MHz in B-mode and using a color Doppler mapping (CDM). The examination was performed due to pain of various intensity in the stump. The total number of nerves examined to assess structural changes is 219, 181 of them were proximal ends. The prescription period of GI ranged from 11 to 405 days, of surgical intervention – from 3 to 355 days. During the scanning there was assessed the anatomical integrity of the peripheral nerve with the determination of the cross-sectional area (CSA), its contours, echostructure, the existence of terminal neuromas (TN) with the determination of their CSA and alien bodies (metal fragments) in soft tissues, presence of involvement of the proximal nerve end in the cicatrix, the existence of hematomas and other pathological formations in the soft tissues of the stump.

Results. The condition of the ends of peripheral nerves on limbs amputated due to GI was assessed, with identification of three main groups of structural changes (n=181): the 1st group (n=110, 61%) consisted of structural changes without reliable signs of TN; the 2nd group (n=45, 25%) consisted of structural changes with TN; the 3rd group (n=26, 14%) consisted of structural changes with the "potential" (emerging) TN. The frequency of occurrence of each group and the relationship with the level of amputation were determined, and the timing of TN detection was defined.

There have been identified pathological changes that cause pain leading to a perceptible decrease in patients' quality of life and impeding earlier prosthetics and restoration of limb function. The effectiveness of the ultrasound diagnostics for this category of patients has been demonstrated.

Discussion. In contrast to injuries of peripheral nerves in everyday life, TN detected after amputations due to GI was accompanied by structural changes in the proximal end of the nerve in

100% of cases. Results of this research correlate with the data in related scientific articles, and as a result the positive relationship between the prescription period of the injury and the CSA of TN was confirmed.

It has also been confirmed that the CSA of the TN is 2 or more times higher than the CSA of the proximal end of the nerve. The presence of metal fragments in the bodies of patients from this group prevents performing magnetic resonance imaging (MRI) and makes ultrasound the main method in the diagnostics of this pathology with many advantages such as non-invasiveness of the method, lack of radiation exposure, and the possibility of an unlimited number of examinations over time.

Conclusion. Ultrasound examination is an effective method for identifying TN which can be a potential cause of pain experienced by the patients after amputation of a limb after a GI. For diagnostics of TN in the peripheral nerves ends of amputated limbs, ultrasound should be performed no earlier than 31 days after surgery.

The echographic criteria of a TN subject to surgical intervention (excision) are: a formed TN with CSA exceeding the CSA of the nerve's end for 2 or more times, a pronounced local soreness during sensor compression in the area of the identified TN.=

Keywords: peripheral nerve ultrasound, terminal neuroma, peripheral nerve injury, gunshot injury.

Corresponding author: Gumerova E.A., e-mail: elmiragumerova1992@yandex.ru

For citation: Gumerova E.A., Dubrovskih S.N., Tatarina A.V., Stepanova Y.A. Possibilities of ultrasonic diagnostics in assesment of structural changes of peripheral nerves in amputated limbs in case of gunshot injury. REJR 2025; 15(1):150-166. DOI: 10.21569/2222-7415-2025-15-1-150-166.

Received: 16.12.24

Accepted: 03.03.25

Огнестрельные ранения конечностей, приводящие к ампутации, являются одними из самых распространенных увечий, полученных в результате боевых действий. Так, в ходе анализа структуры и характера санитарных потерь хирургического профиля в вооруженных конфликтах последних десятилетий выявлена достоверная тенденция увеличения частоты огнестрельных, в том числе минно-взрывных ранений (МВР) – с 16,7% (война в Афганистане, 1979-1989) до 30% в более поздних вооруженных конфликтах. В структуре пулевых ранений преобладали повреждения конечностей (до 78,9%), в структуре осколочных ранений конечности составили 52,2%, в структуре минно-взрывных ранений на их долю пришлось до 71,7%. При этом наиболее часто в структуре МВР наблюдались отрывы различных сегментов конечностей – от 58% (Афганистан) до 23,4-15,4% (первый и второй конфликты на Северном Кавказе) [1].

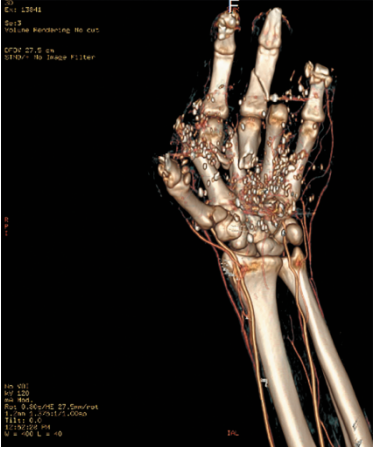

В структуре санитарных потерь хирургического профиля при ранжировании по ведущей локализации повреждений первое место во всех вооруженных конфликтах занимали ранения конечностей [2].

В результате статистического анализа экспертно-реабилитационных характеристик

инвалидности в ходе проведения специальной военной операции (СВО) установлено, что лица молодого возраста составили 96,7%, при этом в 100% случаев данным пациентам была выполнена ампутация конечности. Ампутации нижних конечностей выполнялись в 3 раза чаще, чем верхних, 84,6% и 27,5% соответственно. У данной категории пациентов наибольшую долю ограничений составили ограничения способности к трудовой деятельности II степени – 50%, способности к самообслуживанию I степени – 48,4% и способности к передвижению II степени – 47,3% [3].

В восстановлении прежнего уровня и качества жизни у пациентов с посттравматическими ампутациями, в частности, нижних конечностей, главное значение (около 80-90%) имело качественное протезирование. При этом длительные сроки до начала раннего первичного протезирования (около 6-10 месяцев после ампутации) были вызваны организационными и иными проблемами. К последним относятся: потребность лечения осложнений основного и сопутствующих заболеваний, длительность заживления послеоперационной раны культи, позднее обращение пациента на протезирование [4].

Наиболее частыми причинами,

 <p style="text-align: center;">Рис. 1 (Fig. 1)</p>	 <p style="text-align: center;">Рис. 2 (Fig. 2)</p>
<p>Рис. 1. КТ-ангиограмма левой кисти, 3D-реконструкция.</p> <p>Визуализируются множественные инородные тела (металлические осколки) в мягких тканях кисти с травматической ампутацией пальцев.</p> <p>Fig. 1. CT angiogram of the left hand, 3D reconstruction.</p> <p>Multiple foreign bodies (metal fragments) are visualized in the soft tissues of the hand with traumatic amputation of the fingers.</p>	<p>Рис. 2. Цифровая рентгенограмма левого плеча, прямая проекция.</p> <p>Визуализируются множественные инородные тела (металлические осколки) в мягких тканях культи плеча.</p> <p>Fig. 2. Digital radiograph of the left shoulder, direct projection.</p> <p>Multiple foreign bodies (metal fragments) are visualized in the soft tissues of the shoulder stump.</p>

препятствующими протезированию, являются: остеофиты, терминальные невромы (ТН), а также вовлечение нервных стволов в рубец [5].

В ходе прикладного топографо-анатомического и рентгенологического исследования ампутационных культи нижних конечностей фиксированных трупов были определены характерные изменения тканей дистального отдела культи в отдаленном послеоперационном периоде. При этом установлено, что на концах пересеченных стволов определялись невромы, диаметр которых превосходил диаметр нервного ствола в 1,5-2 раза. Дистальные отделы невром располагались на 1-2 см проксимальнее уровня ампутации и были вовлечены в общий фиброзно-рубцовый слой, располагавшийся над опилом кости [6].

Для диагностики такого рода изменений периферических нервов требуется доступный и неинвазивный метод диагностики, который способен визуализировать нервные стволы и выявлять различные признаки их повреждения. Имеющиеся традиционные способы инструментальных методов диагностики повреждений периферических нервов либо не дают картину изображения

нервного ствола – электронейромиография (ЭНМГ), либо являются трудоемкими и дорогостоящими и требуют наличия сложного оборудования – МРТ. Также, непроизвольные движе

ния в ампутированной конечности, встречающиеся у пациентов с терминальными невромами, существенно затрудняют выполнение МРТ. Многие авторы указывают на высокую информативность ультразвукового исследования для выявления болезней культи, в том числе терминальных невром [7-10].

У большинства пациентов с огнестрельными травмами в теле находятся множественные металлические осколки, являющиеся противопоказанием к выполнению МРТ (рис. 1, 2).

В зависимости от сроков травмы ультразвуковой метод исследования дает возможность визуализировать посттравматические терминальные невромы различных размеров. Ультразвуковыми критериями диагностики последних являются: наличие гипэхогенного образования булавовидной или шаровидной формы, исходящего из проксимальной культи нервного ствола, аваскулярного в режиме

цветного доплеровского картирования (ЦДК). При этом концевые посттравматические невроты на проксимальном конце пересеченного нерва выявлялись в большинстве случаев при исследовании, выполненном не ранее 3 недель [7, 9].

Терминальные невроты обычно возникают в результате поперечного сечения нерва. С гистологической точки зрения компоненты терминальной невроты включают неинкапсулированные спутанные массы аксонов, шванновских клеток, эндоневральных клеток и периневральных клеток в плотной коллагеновой среде [11].

Во время ультразвукового исследования, помимо четкого определения точки расположения невроты можно выявить болезненность в области невроты при компрессии датчиком в данной зоне, указывающую на нейропатический характер боли [12].

По данным литературы неврома может быть заметна уже через 8 дней после проникающей травмы, но чаще всего наблюдалась у пациентов спустя 150 дней после травмы. При этом вероятность развития невроты увеличивается на 30% каждый месяц после травмы. Также, наблюдалась положительная взаимосвязь между давностью травмы и площадью поперечного сечения (ППС) терминальной невроты [9].

В качестве стандарта в УЗИ периферического нерва рекомендована поперечная визуализация, выполняемая для лучшей оценки его размера и экоструктуры. УЗИ также позволяет оценить состояние нерва в динамике, т. е. при движении мышц, движениях в суставах. Динамическое ультразвуковое исследование может выявить сращение нерва с окружающими тканями. Помимо данной методики, применимо и интраоперационное УЗИ для исключения внутривольной невроты, занимающей до 25% ППС нервного ствола, не всегда заметной макроскопически [11, 13].

Также, для более детальной оценки состояния периферических нервов применяется эластография. При этом отмечено, что показатель жесткости и скорости распространения сдвиговой волны не зависят от стороны травматического повреждения, от сегмента поврежденного нерва, от времени, прошедшего с момента травмы до исследования, а также от возраста. Жесткость нервов имеет тенденцию к увеличению при травматическом повреждении периферических нервов, что соответствует потере эластичного миелина и

его замене соединительной тканью [14].

По данным зарубежных авторов, процент невром у пациентов с ампутированными конечностями ниже колена был больше, чем у пациентов с уровнем ампутации на бедре. Образование терминальной невроты было обнаружено у 50% пациентов с ампутацией, связанной с минно-взрывным ранением и у 27% при ампутации по другим травмирующим причинам [15].

В зарубежной литературе описан случай диагностики причины «прыгающей» ампутационной культы, с непроизвольными движениями и сильной нейропатической болью, связанной с постампутационной терминальной невротой, в котором УЗИ выступило как самый оптимальный метод. Проведенная данному пациенту МРТ оказалась малоинформативной в связи с неконтролируемой двигательной активностью культы, в результате чего изображение было смазанным [8].

Проблемы диагностики состояния ампутированных конечностей имеют важное медицинское и социально-экономическое значение, учитывая достаточно высокую частоту встречаемости сочетанных травм, стойкой утратой трудоспособности, а также достаточно молодым возрастом пациентов.

Несмотря на большое количество научных трудов, нет четкого понимания роли терминальной невроты в патогенезе фантомно-болевого синдрома (ФБС) в целом и при возникновении болей после протезирования, в частности. Разнообразие клинических проявлений патологии культы, смещение анатомических структур в связи с отсутствием дистальных точек прикрепления к отсутствующим фрагментам костного скелета, вариантность строения периферической нервной системы (ПНС) приводят к большому количеству диагностических, тактических ошибок, вследствие чего ухудшается прогноз полного восстановления функции конечности.

Кроме того, не определены эхографические паттерны различных вариантов структурных изменений в периферических нервах после ампутации при сформированной культе. Нет нормативных референсных значений площади поперечного сечения проксимальных концов нервов и терминальных невром в зависимости от сроков ампутации и формирования последних. Не определены сроки осмотра пациентов после ампутации для раннего выявления терминальных невром у пациентов с ампутациями конечности

вследствие огнестрельной травмы (ОТ).

Цель исследования: определить возможности ультразвукового метода исследования в оценке структурных изменений концов периферических нервов, выявлении терминальных невром у пациентов после ампутации конечностей при огнестрельной травме.

Материалы и методы.

Обследованы 86 пациентов с ампутациями верхних и нижних конечностей на различных уровнях, а также с ампутацией пальца кисти, находившихся на лечении в различных отделениях ФГБУ «НМИЦ ВМТ им. А.А. Вишневого» Министерства обороны России с марта 2022 года по сентябрь 2024 года. Возраст обследованных пациентов варьировал от 20 до 57 лет, средний возраст пациентов составил 35,3 лет (от 20 до 57 лет). Все пострадавшие – мужчины.

Причиной ампутации у всех обследуемых пациентов является огнестрельная травма. Травматические повреждения конечностей, повлекшие за собой ампутацию, явились результатом воздействия следующих поражающих факторов: газопылевой поток продуктов детонации, ударная волна взрыва, пламя, токсические продукты горения, осколки. Также, немаловажную роль сыграли огнестрельные повреждения магистральных сосудов конечностей, приводящие к острой ишемии.

У данной группы пациентов исследованы 92 конечности (ампутированы по 2 нижних конечности – у 5 пациентов, 2 верхних конечности – у 1, 5-й палец правой кисти – у 1). Всего осмотрены 219 нервов, из них непосредственно проксимальные концы нервных стволов – 181: седалищных – 65 (29,68%) (на уровне проксимального конца осмотрены 28 из них, с сохраненной целостностью при уровне ампутации (голень или нижняя треть бедра) – 37), большеберцовых – 37 (16,89%), малоберцовых – 37 (16,89%), срединных – 26 (11,87%), локтевых – 27 (12,32%), 1 из них без повреждения анатомической целостности (у пациента с ампутацией 5-го пальца правой кисти), лучевых – 26 (11,87%), собственной пальцевой – 1 (0,45%).

Временной период от момента оперативного вмешательства до момента ультразвукового исследования варьировал в пределах от 11 до 405 дней, Me (медиана) – 75 дней. От момента непосредственно огнестрельной травмы: от 3 до 355 дней, Me – 65 дней. Перед выполнением исследования изучались данные анамнеза пациента,

результаты его неврологического осмотра, данные инструментальных исследований (КТ, рентгенографии), а также учитывались жалобы пациента непосредственно на момент исследования.

Диагностические исследования проводились пациентам на ультразвуковых сканерах, оснащенных линейными датчиками с диапазоном частот от 3 до 17 МГц: ACUSSON S2000, системе ультразвуковой «Протон М», «РУСКАН 60», после установки режима исследования опорно-двигательного аппарата. Предварительной специальной подготовки пациента не требовалось. Показания к исследованию – боли в культе различной степени интенсивности.

Ультразвуковое исследование начиналось с поперечного сканирования нервного ствола в точке, максимально удобной для его четкой визуализации для каждого из нервов, учитывая характер травмы и уровень ампутации конечности, а также амплитуду движений в крупных суставах. Далее проводилось сканирование в проксимальном и дистальном направлениях, плоскость сканирования менялась на продольную для оценки контуров нервного ствола и его экоструктуры, а также для визуализации зоны перевязки конца нерва и определения размеров терминальной невromы. При выявлении последней, измерялась площадь поперечного сечения (ППС) терминальной невromы, ППС конца нерва перед проксимальной невромой, а также ППС нервного ствола в проксимальных отделах конечности. Для стандартизации при сравнении с контрлатеральной конечностью, которая отсутствовала в ряде случаев, использованы стандартные установленные значения ППС периферических нервов. Исследование проводилось в В-режиме и с использованием ЦДК.

В процессе сканирования оценивалась анатомическая целостность периферического нерва на всем протяжении до проксимального конца, его контуры, экоструктура, наличие инородных тел (металлических осколков, костных отломков) в структуре нервного ствола и в расположенных рядом мягких тканях, вовлечение проксимального конца нерва в послеоперационный рубец, наличие гематом и иных патологических образований в мягких тканях культы конечности, остеофитов в области проксимального конца кости.

Полученные результаты обработаны стандартными статистическими методами с использованием ресурсов MS Excel,

3 вида структурных изменений концов периферических нервов

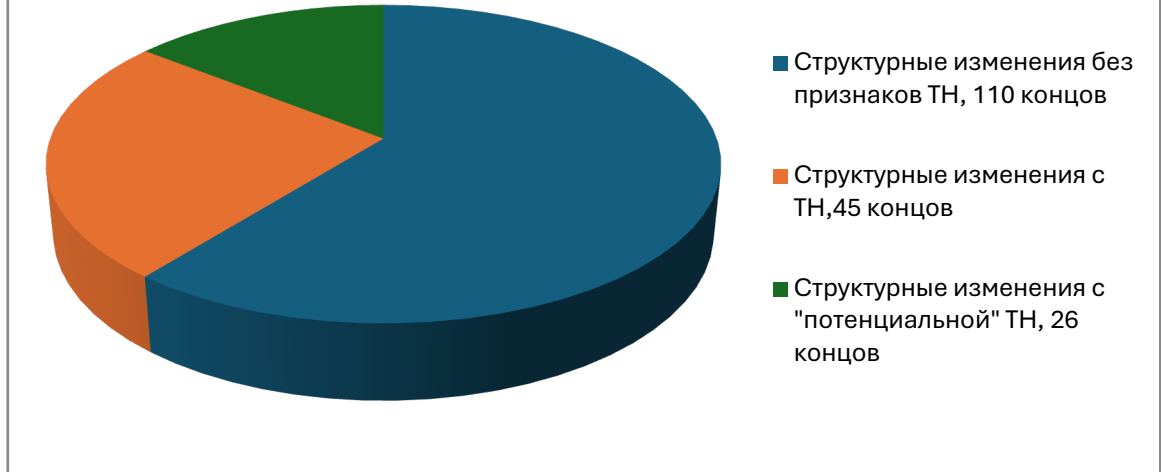


Рис. 3 (Fig. 3)

Рис. 3. Круговая диаграмма.

Основные группы структурных изменений проксимальных концов периферических нервов у пациентов, перенесших ампутацию конечности при огнестрельной травме: структурные изменения без признаков терминальной невромы (ТН), 110 концов; структурные изменения с терминальной невромой, 45 концов; структурные изменения с «потенциальной» терминальной невромой, 26 концов.

Fig. 3. Pie chart.

Main groups of structural changes in the proximal ends of peripheral nerves in patients who have undergone limb amputation due to OT, structural changes without signs of TN, 110 terminal parts; structural changes with TN, 45 ends; structural changes with "potential" TN, 26 terminal parts.

Stattech.ru.

Результаты.

В результате проведенного ультразвукового исследования, все изменения проксимальных концов периферических нервов на ампутированных конечностях, за исключением добавочных ветвей нервов, были разделены на три основных группы (n=181) (рис. 3): 1 группу (n=110, 61%) составили структурные изменения без достоверных признаков терминальной невромы; 2 группу (n=45, 25%) составили структурные изменения с терминальной невромой; 3 группу (n=26, 14%) составили структурные изменения с «потенциальной» (формирующейся) терминальной невромой.

Ультразвуковыми признаками структурных изменений конца нерва без терминальной невромы явились: утолщение конца нерва с сохраненной фасцикулярностью строения, снижение

эхогенности и усиление васкуляризации конца нерва при ЦДК (рис. 4-7).

Ультразвуковыми признаками потенциальной терминальной невромы явились: утолщение конца нерва с сохраненной фасцикулярностью строения, снижение эхогенности и усиление васкуляризации конца нерва при ЦДК, а также наличие шаровидного гипозоногенного образования, исходящего из конца нерва, отсутствие дифференцировки на фасцикулы в образовании, последнее занимает не всю ППС конца нерва (чаще отмечается его краевое расположение), образование аваскулярно при ЦДК (рис. 8).

Ультразвуковыми признаками сформированной терминальной невромы явились: утолщение конца нерва с сохраненной фасцикулярностью строения, снижение эхогенности и усиление васкуляризации конца нерва при ЦДК, а также наличие булавовидного или шаровид-



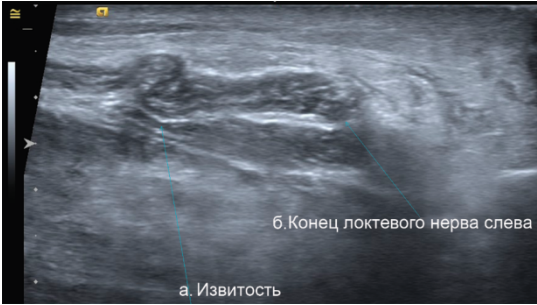

 <p style="text-align: center;">Рис. 4 (Fig. 4)</p>	 <p style="text-align: center;">Рис. 5 (Fig. 5)</p>
<p>Рис. 4. УЗИ седалищного нерва, В-режим.</p> <p>Визуализируется обработанный конец седалищного нерва культы бедра (обозначена область перевязки, метками указана толщина конца нерва), а – седалищный нерв, продольно; б – область перевязки.</p> <p>Fig. 4. Ultrasound of the sciatic nerve, B-mode.</p> <p>The treated terminal part of the sciatic nerve of the thigh stump is visualized (the area of ligation is marked, the thickness of the nerve terminal part is indicated by marks), a – sciatic nerve, longitudinally; b – ligation area.</p>	<p>Рис. 5. УЗИ седалищного нерва, режим ЦДК.</p> <p>Отмечается усиление васкуляризации конца нерва, а – конец седалищного нерва слева при ЦДК.</p> <p>Fig. 5. Ultrasound of the sciatic nerve, color Doppler mode.</p> <p>Increased vascularization of the terminal part of the nerve is noted, a – the end of the sciatic nerve on the left with CDM.</p>
 <p style="text-align: center;">Рис. 6 (Fig. 6)</p>	 <p style="text-align: center;">Рис. 7 (Fig. 7)</p>
<p>Рис. 6. УЗИ локтевого нерва, В-режим.</p> <p>Визуализируется извитость конца локтевого нерва культы плеча, а – извитость; б – конец локтевого нерва слева.</p> <p>Fig. 6. Ultrasound of the ulnar nerve, B-mode.</p> <p>The tortuosity of the terminal part of the ulnar nerve of the shoulder stump is visualized, a – tortuosity; b – terminal part of the ulnar nerve on the left.</p>	<p>Рис. 7. УЗИ лучевого нерва, В-режим.</p> <p>Прилежание лучевого нерва к торцевой части опила плечевой кости как одна из возможных причин компрессии конца нерва, указана толщина конца нерва, а – конец лучевого нерва.</p> <p>Fig. 7. Ultrasound of the radial nerve, B-mode.</p> <p>Adjacency of the radial nerve to the terminal part of the humeral bone saw cut, as one of the possible causes of compression of the terminal part of the nerve, the thickness of the terminal part of the nerve is indicated, a – terminal part of the radial nerve.</p>



Рис. 8 (Fig. 8)

Рис. 8. УЗИ локтевого нерва, режим ЦДК.

Визуализируется потенциальная терминальная неврома локтевого нерва, а – формирующаяся терминальная неврома.

Fig. 8. Ultrasound of the ulnar nerve, color Doppler mode.

Potential terminal neuroma of the ulnar nerve is visualized, а – forming terminal neuroma.



Рис. 9 (Fig. 9)

Рис. 9. УЗИ срединного нерва, В-режим.

Визуализируется терминальная неврома срединного нерва, указаны размеры терминальной невромы, а – терминальная неврома; б – нерв проксимальнее.

Fig. 9. Ultrasound of the median nerve, B-mode.

Terminal neuroma of the median nerve is visualized, the sizes of the terminal neuroma are indicated, а – terminal neuroma; б – nerve proximal.

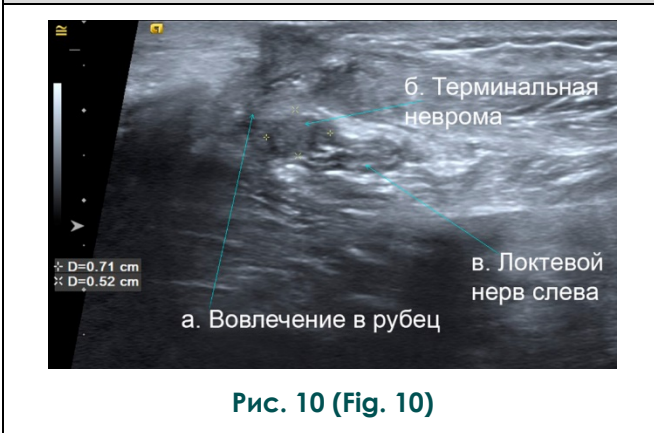


Рис. 10 (Fig. 10)

Рис. 10. УЗИ локтевого нерва, В-режим.

Визуализируется терминальная неврома локтевого нерва с вовлечением в рубец, указаны её размеры, а – вовлечение в рубец; б – терминальная неврома; в – локтевой нерв слева.

Fig. 10. Ultrasound of the ulnar nerve, B-mode.

Terminal neuroma of the ulnar nerve with scar involvement is visualized, the sizes of the terminal neuroma are indicated, а – scar involvement; б – terminal neuroma; в – left ulnar nerve.

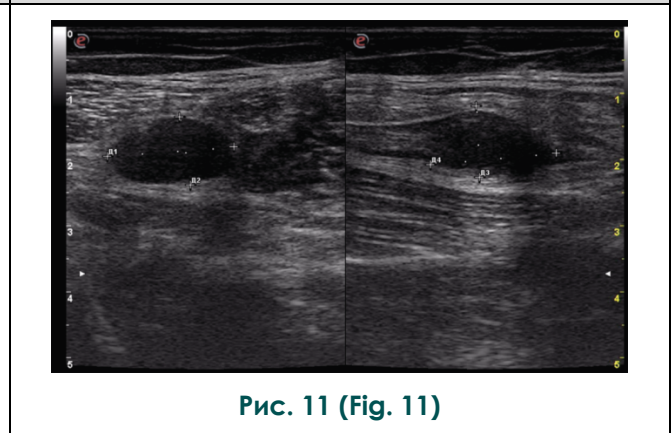


Рис. 11 (Fig. 11)

Рис. 11. УЗИ седалищного нерва, В-режим.

Визуализируется терминальная неврома седалищного нерва, указаны размеры ТН.

Fig. 11. Ultrasound of the sciatic nerve, B-mode.

The terminal neuroma of the sciatic nerve is visualized, the sizes of the terminal neuroma are indicated.



Рис. 12 (Fig. 12)

Рис. 12. УЗИ локтевого нерва, В-режим.

Визуализируется терминальная неврома локтевого нерва, измерена её толщина и конца нерва; а – терминальная неврома локтевого нерва.

Fig. 12. Ultrasound of the ulnar nerve, B-mode.

The terminal neuroma of the ulnar nerve is visualized, the thickness of the terminal neuroma and the terminal part of the nerve is measured; а – terminal neuroma of the ulnar nerve.



Рис. 13 (Fig. 13)

Рис. 13. УЗИ большеберцового нерва, В-режим.

Визуализируется добавочная ветвь большеберцового нерва культы бедра слева, определена ППС большеберцового нерва; а – латеральная добавочная ветвь нерва; б – большеберцовый нерв слева; в – бедренная артерия.

Fig. 13. Ultrasound of the tibial nerve, B-mode.

The accessory branch of the tibial nerve of the left femoral stump is visualized, the CSA of the tibial nerve is determined, а – lateral accessory branch of the nerve; б – tibial nerve on the left; с – femoral artery.

ного гипоэхогенного образования, превосходящего ППС нерва проксимальнее в 2 и более раза, исходящего из конца нерва, в образовании отсутствует дифференцировка на фасцикулы, оно занимает всю ППС конца нерва и также аваскулярно при ЦДК (рис. 9-12). Сформированная терминальная неврома также в разы превосходит ППС нерва на контрлатеральной конечности (для стандартизации использовалось среднее значение ППС для конкретного нерва по литературным данным). Также были выявлены терминальные невромы добавочных ветвей большеберцового нерва (рис. 13-14).

Средние значения ППС на разных уровнях нерва культы и на контрлатеральной конечности представлены в таблице №1.

Обращает на себя внимание некоторое различие формы терминальной невромы: на верхних конечностях – преимущественно округлая (шаровидная), на нижних конечностях – в преобладающем варианте овоидной формы в продольном направлении.

Срок выявления сформированных терминальных невром на верхних конечностях варьировал от 38 до 354 дней с момента огнестрельной травмы (ОТ) и от 27 до 343 дней с момента оперативного

вмешательства (ампутации/реампутации), потенциальных – от 14 до 256 дней с момента ОТ и от 14 до 255 дней с момента оперативного вмешательства соответственно.

Что касается нижних конечностей, то сформированные терминальные невромы выявлялись в сроки от 33 до 228 дней с момента ОТ и от 14 до 228 дней с момента оперативного вмешательства, потенциальные терминальные невромы определялись на сроке от 28 до 362 дней от момента ОТ и от 28 до 355 дней с момента оперативного вмешательства.

Также потенциальные терминальные невромы на верхних конечностях на минимальных сроках выявлялись на 2-3 недели раньше, чем сформированные, на нижних конечностях – практически одинаково. Соответственно, минимальный срок выявления терминальных невром, как потенциальных, так и сформированных, на верхних конечностях после оперативного вмешательства составил от 14 до 38 дней, на нижних конечностях – от 14 до 28 дней, на основании чего можно сделать вывод, что проводить исследование данной категории следует не ранее, чем через 3-4 недели от момента оперативного вмешательства, в



Рис. 14 (Fig. 14)

Рис. 14. УЗИ большеберцового нерва, В-режим.

Визуализируется терминальная неврома добавочной ветви большеберцового нерва с вовлечением в рубец, определены её размеры; а – терминальная неврома медиальной добавочной ветви большеберцового нерва; б – вовлечение невромы в рубец.

Fig. 14. Ultrasound of the tibial nerve, B-mode.

A terminal neuroma of the accessory branch of the tibial nerve with involvement in the scar is visualized, the sizes of the terminal neuroma are determined, a – terminal neuroma of the medial accessory branch of the tibial nerve; b – involvement of the neuroma in the scar.

среднем через 31 день. Данные представлены в таблице №2.

Распределение частоты повреждений: на верхних конечностях лидировал уровень плеча (18 конечностей из 27), на нижних – голени (34 конечности из 65). При этом повреждения нижних конечностей встречались в данной выборке пациентов в 2 раза чаще, чем верхних (70%). В обоих случаях преобладали поражения на левой стороне (54 из 92 конечностей).

Вовлечение концов нервов культы в рубец отмечено в 25% случаев (23 конечности). Наличие металлических осколков непосредственно в мягких тканях культы определялось в 26% случаев (24 конечности); гематом в мягких тканях культы – в 9% случаев (9 конечностей). При этом металлические осколки сопровождалась «мерцающим артефактом» со своей поверхности при ЦДК (рис. 15).

Подверглись повторному/неоднократному хирургическому вмешательству при формировании культы 74% ампутированных конечностей (68 конечностей). При этом в 88% случаев и более терминальные невромы, в том числе потенциальные, отсутствовали у пациентов, которым культя была сформирована поэтапно (с повторными хирургическими вмешательствами).

Распределение ТН и ПТН в структуре верхней конечности (суммарно 36 невром)

Таблица №1. Средняя площадь поперечного сечения (ППС) на разных уровнях нерва культы и на контрлатеральной конечности.

Локализация Уровень изменения	Верхние конечности, ППС в см ²				Нижние конечности, ППС в см ²			
	Средин- ный нерв	Локте- вой нерв	Лучевой нерв	Пальце- вой нерв	Седалищ- ный нерв	Больше- берцовый нерв	Добавоч- ные ветви нервов	Малобер- цовый нерв
На контрлатеральной конечности	0,080±0,02 4	0,088±0,0 24	0,088±0, 019	0,02	0,46±0,106	0,19±0,04	-	0,09±0,02
Нерв в проксимальных отделах	0,18±0,07 (0,09-0,35)	0,14 (0,07-0,36)	0,11 (0,06-0,26)	0,02 (0,02-0,02)	0,54±0,17 (0,26-1,15)	0,28 (0,14-0,68)	-	0,09 (0,05-0,40)
Конец нерва на культя	0,25 (0,09-1,11)	0,22±0,09 (0,07-0,46)	0,14 (0,03-1,18)	0,02 (0,02-0,02)	0,82 (0,47-2,10)	0,32 (0,07-1,72)	0,03 (0,03-0,10)	0,09 (0,04-0,50)
Потенциальная ТН	0,18 (0,18-0,18)	0,26±0,12 (0,09-0,37)	0,10 (0,05-0,15)	-	1,01 ± 0,35 (0,43-1,55)	0,31 ± 0,13 (0,14-0,49)	-	0,48 (0,30-0,67)
Сформированная ТН	0,53±0,19 (0,34-0,96)	0,46±0,10 (0,35-0,61)	0,35±0,1 3 (0,21-0,52)	0,06 (0,06-0,06)	1,49 (1,20-1,52)	0,56±0,17 (0,38-0,78)	0,21±0,09 (0,15-0,31)	0,21±0,06 (0,15-0,30)

*ТН – терминальная неврома.

было следующим: срединный нерв – 12 концевых невром (из них 1 потенциальная), локтевой нерв – 14 (из них 4 потенциальные), лучевой нерв – 9 (из них 2 потенциальные), пальцевой нерв – 1.

На нижней конечности выявлено 35 ТН и ПТН суммарно: седалищный нерв – 12 концевых невром (из них 8 потенциальные), большеберцовый нерв – 17 (из них 9 потенциальные), малоберцовый нерв – 6 (из них 2 потенциальные) (рис. 16, 17).

Распределение невром по виду нерва на верхней и нижней конечности было следующим: на верхней конечности сформированные терминальные невromы практически с равной частотой выявлялись на концах срединного и локтевого нервов (37% и 34% соответственно), потенциальные терминальные невromы чаще выявлялись на

концах локтевого нерва (57%); на нижней конечности сформированные терминальные невromы чаще выявлялись на концах большеберцового нерва (50%), потенциальные терминальные невromы практически с равной частотой выявлялись на концах седалищного и большеберцового нервов. Данные представлены в таблице №3.

Все пациенты с невromами отмечали фантомные ощущения в отсутствующем фрагменте конечности, подвергшейся ампутации.

На конце периферических нервов в 71 случае из 181 выявлены признаки терминальных невром (потенциальные и сформированные суммарно) и, соответственно, 110 концов нервов без признаков терминальных невром. У пяти пациентов с выраженным болевым

Таблица №2. Сроки выявления терминальных невром в днях со средними значениями (Ме).

Конечность	Сформированные ТН		Потенциальные ТН	
	после ОТ	после А/Р	после ОТ	после А/Р
Верхняя конечность	127,0 (38 до 354)	100,0 (27 - 343)	57,0 (14 - 256)	30,0 (14 - 255)
Нижняя конечность	119,5 (33-228)	112,5 (14-228)	78,0 (28-362)	75,0 (28-355)

*А/Р – ампутация/реампутация, ОТ – огнестрельная травма.

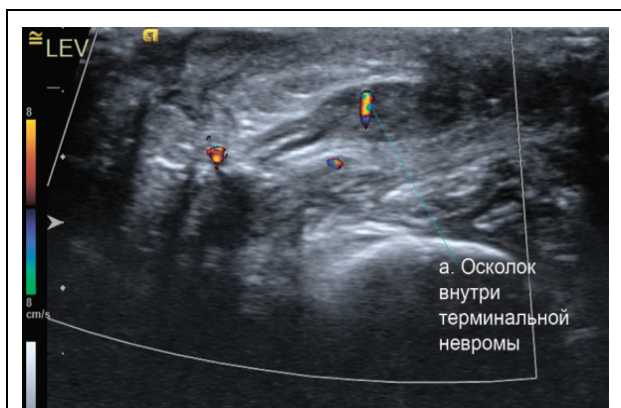


Рис. 15 (Fig. 15)

Рис. 15. УЗИ локтевого нерва, режим ЦДК.

Визуализируется инородное тело (металлический осколок) в структуре терминальной невromы локтевого нерва, а – осколок внутри терминальной невromы.

Fig. 15. Ultrasound of the ulnar nerve, color Doppler mode.

A foreign body (metal fragment) is visualized in the structure of the terminal neuroma of the ulnar nerve.

синдромом и локальной болезненностью при компрессии датчиком в проекции терминальных невром прооперированы 8 концов нервов, на 4 из них терминальные невromы подтверждены, иссечены (рис. 18-20); 4 конца нерва были вовлечены в выраженный рубцовый процесс с существенным утолщением концов без достоверных признаков терминальных невром интраоперационно, что вошло в группу ложноположительных результатов. 63 пациента с выявленными терминальными невromами не нуждались в оперативном вмешательстве в связи с низкой интенсивностью болевого синдрома в культе, отсутствием локальной болезненности в точке над терминальной невромой. Также при пересмотре 2 пациентов с сохраняющимся болевым синдромом без признаков терминальных невром на УЗИ было выявлено 2 терминальные невromы, визуализация которых была крайне затруднена в связи с вовлечением в рубцовый процесс, что вошло в группу ложноотрицательных результатов. Данные определения чувствительности, специфичности, точности и эффективности метода представлены в таблице №4.

Обсуждение.

В отличие от травм периферических

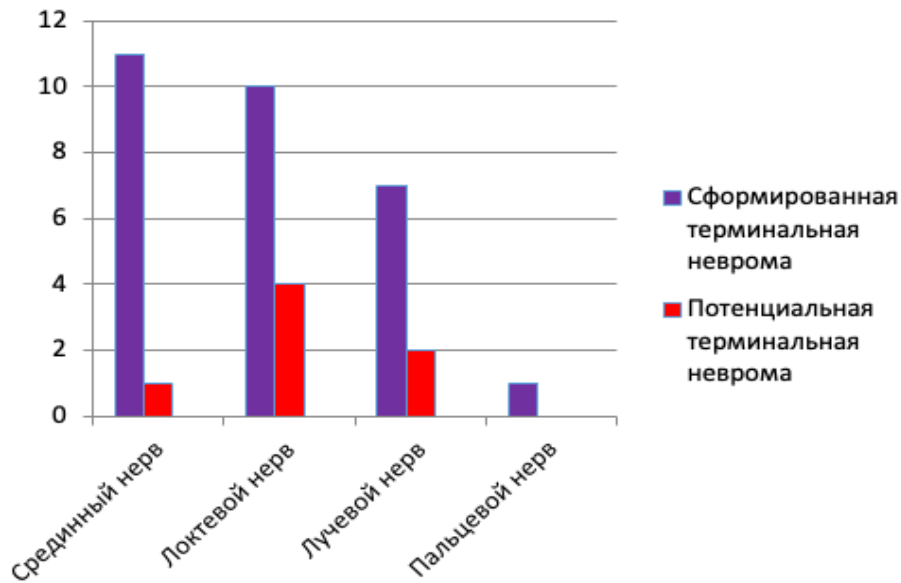


Рис. 16 (Fig. 16)

Рис. 16. Гистограмма.

Распределение невром (сформированная терминальная неврома, потенциальная терминальная неврома) на верхней конечности: срединный нерв, локтевой нерв, лучевой нерв, пальцевый нерв.

Fig. 16. Histogram.

Distribution of neuromas (developed terminal neuroma, potential terminal neuroma) in the upper limb: median nerve, ulnar nerve, radial nerve, digital nerve.

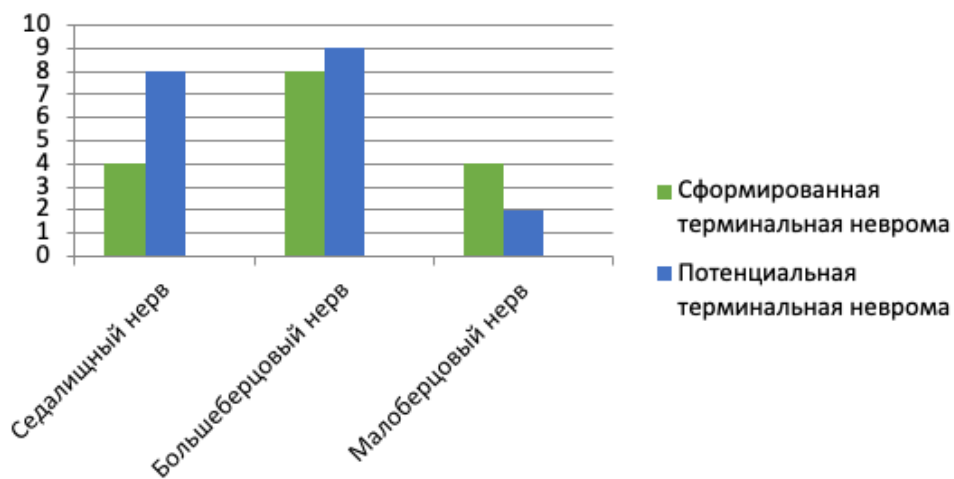


Рис. 17 (Fig. 17)

Рис. 17. Гистограмма.

Распределение невром (сформированная терминальная неврома, потенциальная терминальная неврома) на нижней конечности: седалищный нерв, большеберцовый нерв, малоберцовый нерв.

Fig. 17. Histogram.

Distribution of neuromas (developed terminal neuroma, potential terminal neuroma) on the lower limb: sciatic nerve, tibial nerve, peroneal nerve.

Таблица №3. Распределение невром по виду нерва на верхней и нижней конечности.

Нерв	Верхняя конечность		Нижняя конечность	
	ТН	ПТН	ТН	ПТН
Срединный нерв	11	1	-	-
Локтевой нерв	10	4	-	-
Лучевой нерв	7	2	-	-
Пальцевой нерв	1	-	-	-
Седалищный нерв	-	-	4	8
Большеберцовый нерв	-	-	8	9
Малоберцовый нерв	-	-	4	19

Таблица №4. Оценка эффективности ультразвукового метода в выявлении терминальных невром на концах периферических нервов культы конечности.

Оцениваемый критерий	Чувствительность, %	Специфичность, %	Точность, %	Эффективность, %
Выявление ТН	97,1	96,4	96,7	96,8

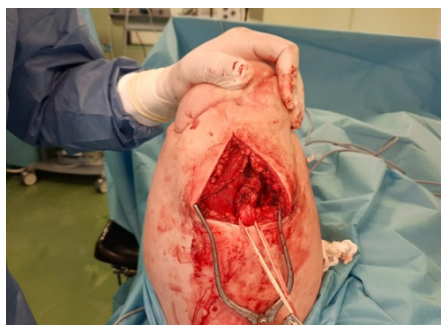


Рис. 18 (Fig. 18)

Рис. 18. Фотография. Интраоперационная картина седалищного нерва, макропрепарат.

Визуализируется терминальная неврома седалищного нерва.

Fig. 18. Photo. Intraoperative picture of the sciatic nerve, gross specimen.

Terminal neuroma of the sciatic nerve is visualized.



Рис. 19 (Fig. 19)

Рис. 19. Фотография. Интраоперационная картина собственного пальцевого нерва 5 пальца кисти, макропрепарат.

Визуализируется терминальная неврома собственного пальцевого нерва 5 пальца правой кисти.

Fig. 19. Photo. Intraoperative picture of the proper digital nerve of the 5th finger of the hand, gross specimen.

The terminal neuroma of the proper digital nerve of the 5th finger of the right hand is visualized.

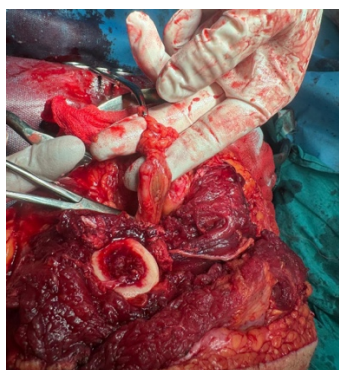


Рис. 20 (Fig. 20)

Рис. 20. Фотография. Интраоперационная картина седалищного нерва, макропрепарат.

Визуализируется терминальная неврома седалищного нерва культы бедра при реампутации.

Fig. 20. Photo. Intraoperative picture of the sciatic nerve, gross specimen.

Terminal neuroma of the sciatic nerve of the femoral stump is visualized during reamputation.

нервов в быту, выявленные терминальные невроты у пациентов после ампутации при огнестрельных травмах в 100% случаев сопровождались структурными изменениями проксимального конца нерва. При выявлении эхографических признаков потенциальной терминальной невроты необходимо УЗИ в динамике для исключения сформированной терминальной невроты, подлежащей оперативному лечению.

Несмотря на то, что не отмечалось четкой последовательной взаимосвязи в виде увеличения размеров терминальных неврот за определенный отрезок времени, имелась тенденция к увеличению площади поперечного сечения невроты с увеличением общего временного интервала, прошедшего с момента ампутации/реампутации. Данное заключение соответствует данным научных статей коллег, которые так же отмечают положительную взаимосвязь между давностью травмы и площадью поперечного сечения терминальной невроты.

Согласно данным Y. Endo с соавт. [9], неврома может быть заметна уже через 8 дней после проникающей травмы, но чаще всего наблюдалась у пациентов спустя 150 дней после травмы. При этом вероятность развития невроты увеличивается на 30% каждый месяц после травмы. Также наблюдалась положительная взаимосвязь между давностью травмы и ППС ТН. Однако литературных данных, соответствующих полученным данным о сроках формирования терминальной невроты, непосредственно при огнестрельной травме, не найдено, что подтверждает актуальность данной проблемы.

По результатам исследования С.С. Богдавленского, площадь поперечного сечения терминальной невроты также в 1,5-2 раза превышает ППС конца нерва проксимальнее [6], что также наблюдалось в данном исследовании. В данной группе пациентов ампутации нижних конечностей выполнены 70% пациентов, что не противоречит данным статистического анализа экспертно-реабилитационных характеристик инвалидности в ходе проведения СВО, где этот показатель составил 84,6% [3]. На основании чего можно сделать вывод, что необходимы дальнейшие разработки защитных механизмов экипировки военнослужащих для минимизации травм наиболее уязвимых частей тела, приводящих к инвалидизации раненых.

Наличие металлических осколков в мягких тканях культы конечности, а зачастую

и других локализаций головы, туловища и конечностей у данной категории пациентов делает невозможным выполнение МРТ, как «золотого стандарта» исследования нервных стволов. Вследствие чего, УЗИ выходит на первое место в диагностике данных патологических изменений.

При этом одним из решающих преимуществ УЗИ периферических нервов, помимо высокой чувствительности и специфичности метода, является неинвазивность методики исследования, отсутствие лучевой нагрузки на больного, проведение исследования в режиме реального времени, а также минимальные экономические затраты на исследование.

Ультразвуковое исследование позволяет оценить не только состояние проксимальных концов периферических нервов и самого нервного ствола на протяжении всей культы ампутированной конечности, но и окружающих тканей, оценить контуры кости культы, выявить костные отломки, инородные тела (металлические осколки), гематомы мягких тканей культы, также являющиеся причинами болевого синдрома за счет компрессии нервных стволов, мягкотканых структур.

Заключение.

При огнестрельной травме у пациентов, перенесших ампутацию конечностей, ультразвуковой метод исследования является эффективным в оценке состояния проксимальных концов периферических нервов и выявлении терминальных неврот.

С целью исключения терминальной невроты проксимальных концов периферических нервов культей ампутированных конечностей исследование следует проводить не ранее, чем через 31 день от момента оперативного вмешательства.

Эхографическими критериями терминальной невроты, подлежащей оперативному вмешательству, являются: сформированная терминальная неврома, площадь поперечного сечения которой в 2 и более раза превышает площадь поперечного сечения конца нерва проксимальнее невроты в сочетании с выраженной локальной болезненностью в области выявленной терминальной невроты при компрессии датчиком.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

1. Денисов А.В., Бадалов В.И., Крайнюков П.Е. и др.. Структура и характер современной боевой хирургической травмы. Военно-медицинский журнал. 2021; 342 (9): 12-20. DOI: 10.52424/00269050_2021_342_9_12
2. Мешков Н.А., Эпидемиология боевой патологии в вооруженных конфликтах и медицинская реабилитация участников боевых действий. Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2022; 21 (4): 176-190 DOI: 10.37903/vsgma.2022.4.25
3. Левкин В.Г., Леукая О.А. Характеристика инвалидности вследствие травм и увечий, полученных в ходе Специальной военной операции, и реабилитационные мероприятия. Физическая и реабилитационная медицина. 2022; 4 (4): 7-16 DOI: 10.26211/2658-4522-2022-4-4-7-16
4. Суляев В.Г., Щербина К.К., Смирнова Л.М. [и др.]. Медицинская технология раннего восстановления способности к самостоятельному передвижению после ампутации нижней конечности. Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2019; 2(66): 101-109 DOI 10.17816/brmma25928
5. Поправка С.Н., Будко А.А., Матвиенко В.В., Юдин В.Е. Особенности хирургической подготовки культей к протезированию. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2021; 98 (3-2): 154-155 DOI 10.17116/kurort20219803221.
6. Богоявленский С.С. К вопросу о топографо-анатомической характеристике тканей ампутационных культей конечностей. Известия Российской военно-медицинской академии. 2022; 41(S2): 71-74.
7. Журбин Е.А., Гайворонский А.И., Декан В.С. [и др.]. Диагностическая эффективность ультразвукового исследования при повреждениях периферических нервов. Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова. 2019; 11 (1): 23-29.
8. Giray E, Atalay KG, Sirazi S, Alp M, Yagci I. An ultrasonographic and electromyographic evaluation of jumping stump possibly due to a neuroma in a patient with transradial amputation: A case report. J Back Musculoskelet Rehabil. 2021; 34 (1): 33-37 DOI: 10.3233/BMR-191645.
9. Endo Y, Sivakumaran T, Lee SC, Lin B, Fufa D. Ultrasound features of traumatic digital nerve injuries of the hand with surgical confirmation. Skeletal Radiol. 2021 Sep; 50(9): 1791-1800. DOI 10.1007/s00256-021-03731-w.
10. Дубровских С.Н., Есипов А.В., Татарина А.В. и др. Возможности сонографии в дифференциальной диагностике поражений периферических нервов при минно-взрывном воздействии. Госпитальная медицина: наука и практика. 2023; Е6 (2): 37-47 DOI: 10.34852/GM3CVKG.2023.95.78.016
11. Causeret A, Lapègue F, Bruneau B, Dreano T, Ropars M, Guillin R. Painful Traumatic Neuromas in Subcutaneous Fat: Visibility and Morphologic Features With Ultrasound. J Ultrasound Med. 2019 Sep; 38(9): 2457-2467 DOI: 10.1002/jum.14944.
12. Wijnjtes J, Borchert A, van Alfen N. Nerve Ultrasound in Traumatic and Iatrogenic Peripheral Nerve Injury. Diagnostics (Basel). 2020 Dec 26; 11(1): 30 DOI: 10.3390/diagnostics11010030.
13. Дубровских С.Н., Чурсин А.В., Татарина А.В., Гумерова Э.А., Степанова Ю.А. Эхографическая и морфологическая характеристика структурных изменений периферических нервов при огнестрельной травме. Russian Electronic Journal of Radiology. 2024; 14 (4): 141-152 DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-4-141-152.
14. Татарина А.В., Дубровских С.Н., Гумерова Э.А., Степанова Ю.А. Эластография большеберцового нерва при повреждениях, вызванных огнестрельной травмой. Russian Electronic Journal of Radiology. 2024; 14 (4): 153-166 DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-4-153-166.
15. Aydemir K, Demir Y, Güzelküçük U, Tezel K, Yilmaz B. Ultrasound Findings of Young and Traumatic Amputees With Lower Extremity Residual Limb Pain in Turkey. Am J Phys Med Rehabil. 2017 Aug; 96(8): 572-577 DOI: 10.1097/PHM.0000000000000687.

References:

1. Denisov A.V., Badalov V.I., Krainyukov P.E. etc. The structure and nature of modern combat surgical trauma. Military medical journal. 2021; 342 (9): 12-20 DOI: 10.52424/00269050_2021_342_9_12 (in Russian).
2. Meshkov N.A. Epidemiology of combat pathology in armed conflicts and medical rehabilitation of combatants. Bulletin of the Smolensk State Medical Academy. 2022; 21 (4): 176-190 DOI: 10.37903/vsgma.2022.4.25 (in Russian).
3. Levkin V.G., Letskaya O.A. Characteristics of disability due to injuries and mutilations received during the Special Military Operation, and rehabilitation measures. Physical and rehabilitation medicine. 2022; 4 (4): 7-16 DOI: 10.26211/2658-4522-2022-4-4-7-16 (in Russian).
4. Suslyayev V.G., Shcherbina K.K., Smirnova L.M. [etc.]. Medical technology for early restoration of the ability to move independently after amputation of the lower limb. Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2019; 2(66): 101-109 DOI: 10.17816/brmma25928 (in Russian).
5. Popravka S.N., Budko A.A., Matvienko V.V., Yudin V.E. Features of surgical preparation of stumps for prosthetics. Issues of balneology, physiotherapy and therapeutic physical culture. 2021; 98 (3-2): 154-155 DOI: 10.17116/kurort20219803221 (in Russian).
6. Bogoyavlensky S.S. On the issue of topographic-anatomical characteristics of the tissues of amputation stumps of the limbs. News of the Russian Military Medical Academy. 2022; 41(S2): 71-74 (in Russian).
7. Zhurbin E.A., Gaivoronsky A.I., Dekan V.S. [etc.]. Diagnostic effectiveness of ultrasound examination for peripheral nerve injuries. Russian Neurosurgical Journal named after Professor A.L. Polenov. 2019; 11 (1): 23-29 (in Russian).
8. Giray E, Atalay K.G., Sirazi S, Alp M, Yagci I. An ultrasonographic and electromyographic evaluation of jumping stump possibly due to a neuroma in a patient with transradial amputation: A case report. J Back Musculoskelet Rehabil. 2021; 34 (1): 33-37 DOI: 10.3233/BMR-191645.
9. Endo Y, Sivakumaran T, Lee SC, Lin B, Fufa D. Ultrasound features of traumatic digital nerve injuries of the hand with surgical confirmation. Skeletal Radiol. 2021 Sep; 50(9): 1791-1800. DOI 10.1007/s00256-021-03731-w.
10. Dubrovskikh S.N., Esipov A.V., Tataryna A.V. et al. Possibilities of sonography in differential diagnosis of peripheral nerve injuries in the case of mine-blast impact. Hospital Medicine: Science and Practice. 2023; E6 (2): 37-47 DOI: 10.34852/GM3CVKG.2023.95.78.016
11. Causeret A, Lapègue F, Bruneau B, Dreano T, Ropars M, Guillin R. Painful Traumatic Neuromas in Subcutaneous Fat: Visibility and Morphologic Features With Ultrasound. J Ultrasound Med. 2019 Sep; 38(9): 2457-2467 DOI: 10.1002/jum.14944.
12. Wijnjtes J, Borchert A, van Alfen N. Nerve Ultrasound in Traumatic and Iatrogenic Peripheral Nerve Injury. Diagnostics (Basel). 2020 Dec 26; 11(1): 30 DOI: 10.3390/diagnostics11010030.
13. Dubrovskikh S.N., Chursin A.V., Tataryna A.V., Gumerova E.A., Stepanova Yu.A. Echo-graphic and morphological characteristics of structural changes in peripheral nerves in gunshot injury. Russian Electronic Journal of Radiology. 2024; 14 (4): 141-152 DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-4-141-152.
14. Tataryna A.V., Dubrovskikh S.N., Gumerova E.A., Stepanova Yu.A. Elastography of the peroneal nerve in injuries caused by gunshot injury. Russian Electronic Journal of Radiology. 2024; 14 (4): 153-166 DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-4-153-166.
15. Aydemir K, Demir Y, Güzelküçük U, Tezel K, Yilmaz B. Ultrasound Findings of Young and Traumatic Amputees With Lower Extremity Residual Limb Pain in Turkey. Am J Phys Med Rehabil. 2017 Aug; 96(8): 572-577 DOI: 10.1097/PHM.0000000000000687.

- amputation: A case report. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2021; 34 (1): 33-37 DOI: 10.3233/BMR-191645.
9. Endo Y., Sivakumaran T., Lee S.C., Lin B., Fufa D. Ultrasound features of traumatic digital nerve injuries of the hand with surgical confirmation. *Skeletal Radiol.* 2021 Sep; 50(9): 1791-1800 DOI: 10.1007/s00256-021-03731-w.
10. Dubrovskikh S.N., Esipov A.V., Tatarina A.V., Gumerova E.A., Koryagina A.D., Pilnicov A.A. The possibilities of sonography in differential diagnostics of peripheral nerve lesions in mine-explosive impacts. *Hospital medicine: science and practice.* 2023; E6 (2): 37-47 DOI: 10.34852/GM3CVKG.2023.95.78.016 (in Russian).
11. Causeret A., Lapègue F., Bruneau B., Dreano T., Ropars M., Guillin R. Painful Traumatic Neuromas in Subcutaneous Fat: Visibility and Morphologic Features With Ultrasound. *J Ultrasound Med.* 2019 Sep; 38(9): 2457-2467 DOI: 10.1002/jum.14944.
12. Wijntjes J., Borchert A., van Alfen N. Nerve Ultrasound in Traumatic and Iatrogenic Peripheral Nerve Injury. *Diagnostics* (Basel). 2020 Dec 26; 11(1): 30 DOI: 10.3390/diagnostics11010030.
13. Dubrovskikh S.N., Chursin A.V., Tatarina A.V., Gumerova E.A., Stepanova Yu.A. Echographic and morphological characteristics of structural changes in peripheral nerves in gunshot trauma. *Russian Electronic Journal of Radiology.* 2024; 14 (4): 141-152 DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-4-141-152 (in Russian).
14. Tatarina A.V., Dubrovskikh S.N., Gumerova E.A., Stepanova Yu.A. Elastography of the tibial nerve in injuries caused by gunshot trauma. *Russian Electronic Journal of Radiology.* 2024; 14 (4): 153-166 DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-4-153-166 (in Russian).
15. Aydemir K., Demir Y., Güzelkücü U., Tezel K., Yılmaz B. Ultrasound Findings of Young and Traumatic Amputees With Lower Extremity Residual Limb Pain in Turkey. *Am J Phys Med Rehabil.* 2017 Aug; 96(8): 572-577 DOI: 10.1097/PHM.0000000000000687.