

УДК 617.58-073.43:616.8-052

<https://doi.org/10.51523/2708-6011.2024-21-2-03>

Нерешенные вопросы применения методов ультразвуковой эластографии у пациентов с мононевропатией пояса нижней конечности и свободной части нижней конечности

А. М. Юрковский, Е. И. Письменникова

Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель, Беларусь

Резюме

Цель исследования. Систематизировать данные и проанализировать диагностическую эффективность ультразвуковой эластографии при мононевропатиях пояса нижней конечности и свободной части нижней конечности.

Материалы и методы. Проведен анализ публикаций в системах PubMed, EMBASE и Web of Science. Основным источником информации служили полнотекстовые научные публикации за период 2013–2023 гг., описывающие случаи применения методов визуализации у пациентов с мононевропатией пояса нижней конечности и свободной части нижней конечности. Основным критерием отбора было наличие в публикации данных о результатах эластографического исследования периферических нервов у пациентов с периферическими невропатиями и у пациентов без данной патологии. Всего было отобрано 23 оригинальные публикации (в том числе три систематических обзора и одно описание проведенного мета-анализа).

Результаты. Определены наиболее перспективные (для имплементации в широкую клиническую практику) методики ультразвуковой эластографии, применение которых способно в случае доработки обеспечить раннюю диагностику мононевропатий пояса нижней конечности и свободной части нижней конечности.

Заключение. Применение ультразвуковой эластографии для диагностики мононевропатий пояса нижней конечности и свободной части нижней конечности сдерживается отсутствием четких представлений относительно референсных значений индексов жесткости (кПа, м/с) для конкретных периферических нервов и возможного влияния на указанные индексы жесткости артефактов от костей и других сопредельных тканей. Кроме того, отсутствует четкий алгоритм выбора методики ультразвуковой эластографии в зависимости от локализации и поперечного сечения нерва. Решение указанных проблем позволит оптимизировать применение ультразвуковой эластографии для диагностики мононевропатий пояса нижней конечности и свободной части нижней конечности.

Ключевые слова: ультразвуковая эластография, мононевропатия пояса нижней конечности, мононевропатия свободной части нижней конечности

Вклад авторов. Юрковский А.М., Письменникова Е.И.: концепция и дизайн исследования, сбор материала, редактирование, обсуждение данных, обзор публикаций по теме статьи, проверка критически важного содержания, утверждение рукописи для публикации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования. Авторы заявляют, что данная работа не получала никакого финансирования.

Для цитирования: Юрковский АМ, Письменникова ЕИ. Нерешенные вопросы применения методов ультразвуковой эластографии у пациентов с мононевропатией пояса нижней конечности и свободной части нижней конечности. Проблемы здоровья и экологии. 2024;21(2):23–29. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2024-21-2-03>

Unresolved issues of using ultrasound elastography methods in patients with mononeuropathy of the lower limb girdle and free part of the lower limb

Alexei M. Yurkovskiy, Evgenia I. Pismennikova

Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

Abstract

Objective. Systematization of data and analysis of the diagnostic effectiveness of ultrasound elastography for mononeuropathies of the lower limb girdle and free part of the lower limb.

© А. М. Юрковский, Е. И. Письменникова, 2024

Materials and methods. Publications in the PubMed, EMBASE and Web of Science systems were analysed thoroughly, describing cases of the use of imaging methods in patients with mononeuropathy of the lower limb girdle and free part of the lower limb.

Results. The most promising for implementation in wide clinical practice ultrasound elastography techniques have been identified. The use of them can, if refined, provide early diagnosis of mononeuropathies of the lower limb girdle and the free part of the lower limb.

Conclusion. The use of ultrasound elastography for the diagnosis of mononeuropathy of the lower limb girdle and free part of the lower limb is hampered by the lack of clear ideas regarding the reference values of stiffness indices (kPa, m/s) for specific peripheral nerves and the possible influence of artifacts from bones and other adjacent tissues on these stiffness indices. In addition, there is no clear algorithm for choosing an ultrasound elastography technique, depending on the location and cross-section of the nerve. Solving these issues will allow optimizing the use of ultrasound elastography for the diagnosis of mononeuropathies of the lower limb girdle and the free part of the lower limb.

Keywords: *ultrasound elastography, mononeuropathy of the lower limb girdle, mononeuropathy of the free part of the lower limb*

Автор contributions. Yurkovskiy A.M., Pismennikova E.I.: research concept and design, collecting material, editing, discussing data, reviewing publications on the topic of the article, checking critical content, approving the manuscript for publication.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The authors state that this work has not received any funding.

For citation: *Yurkovskiy AM, Pismennikova EI. Unresolved issues of using ultrasound elastography methods in patients with mononeuropathy of the lower limb girdle and free part of the lower limb. Health and Ecology Issues. 2024;21(2):23–29. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2024-21-2-03>*

Введение

Согласно литературным данным, распространенность периферической невропатии (ПНП) в популяции составляет примерно 2,4 %, причем с возрастом (т. е. у пациентов старше 55 лет) инцидентность указанных заболеваний достигает 8 % [1]. Что же касается такого варианта ПНП, как мононевропатия (МНП) нижних конечностей, то данные, приводимые в литературных источниках по этим патологическим состояниям, противоречивы. Впрочем, проявляется МНП также, как и ПНП, нарушениями двигательной, сенсорной и/или вегетативной функции периферического нерва [1].

И хотя основным методом диагностики МНП является электронейромиография, в ряде случаев для диагностики ПНП и МНП используется ультрасонография (УСГ). Эволюция высокочастотных широкополосных датчиков (увеличение диапазона рабочих частот до 22 МГц и выше), а также прогресс в постобработке изображений улучшили выявляемость анатомических деталей и тонких структурных отклонений в периферических нервах [2].

Периферические нервы в В-режиме визуализируются как трубчатые структуры с характерным фасцикулярным паттерном: на продольных изображениях определяются линейные гипоэхогенные пучки, разделенные полосами гиперэхогенного периневрия, на аксиальных — в виде «сот», с овоидными гипоэхогенными пучками, расположенными на фоне гиперэхогенного пе-

риневрия [2, 3]. Однако такой паттерн свойственен не всем периферическим нервам. Например, нервы плечевого и шейного сплетений более гипоэхогенные [4] (причина — меньшее количество периневрия и более плотное прилегание пучков нервных волокон друг к другу [5]). Более того, эхогенность и количество пучков могут быть уменьшены в местах прохождения нерва через остеофиброзные туннели (например, локтевой нерв в кубитальном туннеле) [6, 7].

Попытки количественной оценки эхогенности (например, определение доли гипоэхогенного компонента относительно площади поперечного сечения нерва) [8, 9] нельзя назвать удачными, поскольку этот подход специфичен для определенной ультразвуковой системы и не сопоставим с данными из других источников (в случае если значения не откалиброваны с помощью универсального фантома) [2]. Впрочем, уже предложены критерии, основанные на сопоставлении морфологических данных и данных УСГ, уменьшающие уровень субъективизма при оценке выраженности изменений эхогенности [3].

С морфометрическими параметрами тоже не все однозначно. Оценивая указанные параметры, мы исходим из представления, что в норме поперечное сечение (ПСН) периферических нервов немного уменьшается от проксимального к дистальному отделу конечности [2]. Однако это бывает не всегда и встречаются ситуации, при которых поперечное сечение дистального сегмента нерва оказывается несколько большим,

чем поперечное сечение проксимального (например, в местах, подвергающихся компрессии). Выходит, что локальное увеличение поперечного сечения нерва [8] не обязательно должно восприниматься как признак ПНП [2], причем даже тогда, когда для оценки используются референсные значения площади поперечного сечения нерва (последние, кстати, разработаны не для всех локализаций, а только для основных нервов конечностей и плечевого сплетения) [6, 10–12], что ожидаемо, поскольку на площадь поперечного сечения нерва могут влиять возраст, пол, индекс массы тела, рост [6, 10] и даже температура конечности [13].

Что касается доплерографии, то ее применимость при ПНП зависит от ПСН и глубины залегания нерва. И исходить нужно из того, что в нормальных нервах кровотоков не определяется [14], а потому наличие доплеровских сигналов (причина — пролиферация сосудов) дает основания предполагать наличие воспалительного процесса [2].

Таким образом, традиционная УСГ хотя и позволяет выявлять ряд структурных изменений, ассоциированных с ПНП, тем не менее не обеспечивает необходимую надежность результатов (причина — недостаточная стандартизация методик исследования), а потому не может использоваться в качестве самостоятельного метода диагностики ПНП [2, 15, 16]. Отсюда и необходимость проработки вопроса применения ультразвуковой эластографии (УЗЭГ) в качестве метода диагностики, уточняющего результаты УСГ, тем более что обнадеживающие экспериментальные данные уже есть [17].

Цель исследования

Систематизировать данные и проанализировать диагностическую эффективность ультразвуковой эластографии при мононевропатиях пояса нижней конечности и свободной части нижней конечности.

Материалы и методы

Проведен анализ публикаций в системах PubMed, EMBASE и Web of Science, описывающих случаи применения ультразвуковой эластографии для диагностики мононевропатий пояса нижней конечности и свободной части нижней конечности. Использованы следующие поисковые термины: «ультразвуковая эластография», «ультразвуковая компрессионная эластография», «ультразвуковая эластография поперечной сдвиговой волны», «мононевропатия пояса нижней конечности», «мононевропатия свободной части нижней конечности» — без каких-либо языковых ограничений. Основным источником

информации служили полнотекстовые научные публикации, отобранные в соответствии с вышеприведенными поисковыми запросами за период 2013–2023 гг. Основным критерием отбора было наличие в публикации данных о результатах эластографического исследования периферических нервов у пациентов с периферическими нейропатиями и у пациентов без данной патологии. Всего было отобрано 23 оригинальные публикации (в том числе три систематических обзора и одно описание проведенного мета-анализа).

Результаты и обсуждение

При периферической нейропатии обычно имеет место повышение внутринервного давления, приводящее к отеку, нарушению перфузии крови, ишемии с развитием в последующем процессов демиелинизации, атрофии аксонов и вторичному фиброзу [1, 15]. Для выявления указанных изменений при мононевропатиях пояса нижней конечности и свободной части нижней конечности обычно используют компрессионную УЗЭГ и УЗЭГ сдвиговой волны [19–21].

Компрессионная ультразвуковая соноэластография при мононевропатиях пояса нижней конечности и свободной части нижней конечности: возможности метода

Эластичность / жесткость нерва и сопредельных мягких тканей оценивается посредством дозированной компрессии датчиком (результат представляется в виде качественной цветовой шкалы, где нормальная, промежуточная и высокая жесткость тканей отражена в виде красного, зеленого и синего цветов соответственно) [18–20].

Первая публикация об успешном применении компрессионной УЗЭГ для оценки состояния седалищного нерва появилась в 2013 году. Тогда авторы ограничились лишь описанием цветового паттерна седалищного нерва у 20 пациентов без периферических нейропатий (средний возраст — $25 \pm 1,6$ года) и высказали предположение, что УЗЭГ может оказаться полезной для выявления ранних признаков ПНП [21]. Позже диагностическую значимость компрессионной УЗЭГ подтвердили и другие авторы [22, 23]. Так, например, были уточнены различия цветового паттерна у пациентов без клинических проявлений и у пациентов с клиническими проявлениями ПНП седалищного нерва [23], а также определена сила взаимосвязи цветных эластограмм с клиническими проявлениями ($r = 0,675$) и с данными МРТ ($r = 0,749$) [19, 22]. Попытки использовать компрессионную УЗЭГ для определения тяжести нейропатии путем субъективной колориметрической оценки нельзя назвать успешными,

поскольку данный подход не позволил разграничить изменения на незначительно и умеренно выраженные (чувствительность, специфичность и прогностическая ценность не превысили 70, 55 и 0,64 % соответственно) [24]. Хотя некоторые авторы утверждают, что такое разграничение возможно, если при оценке данных будет использоваться так называемый коэффициент деформации (коэффициент, отражающий соотношение жесткости нерва и близлежащего сухожилия) [19]. Однако есть сомнения, что это непростая в исполнении методика найдет себе применение в широкой клинической практике.

Что касается мононевропатии пояса нижней конечности (т. е. верхних нервов ягодиц и среднего ягодичного нерва), то технология УЗЭГ указанных нервов пока не отработана, что ожидаемо, поскольку их диаметр в среднем составляет $1,5 \pm 0,5$ мм, а потому если что и удастся визуализировать при компрессионно-ишемическом поражении, то только зону периневрального отека [16].

Следует отметить, что основной проблемой компрессионной УСЭГ является ее воспроизводимость, поскольку циклы компрессии-декомпрессии выполняются посредством ультразвукового датчика и при этом параметры сила/частота настраиваются каждым специалистом самостоятельно в соответствии с индикатором деформации на экране ультразвукового сканера. При этом требуется еще и технически правильное выполнение компрессии (строго вертикально, без выскальзывания ткани из плоскости давления) [18, 19].

Ультразвуковая соноэластография сдвиговой волны при мононевропатиях пояса нижней конечности и свободной части нижней конечности: возможности метода

Эластичность / жесткость нерва при УЗЭГ поперечной сдвиговой волны оцениваются посредством анализа сдвиговых деформаций, возникающих в нерве под действием импульсов сфокусированного высокочастотного акустического излучения (результат представляется в виде количественных параметров механического напряжения (кПа) и скорости распространения сдвиговой волны (м/с)) [18–20]. Особенностью сдвиговых волн является то, что они распространяются быстрее через более жесткие и плотные ткани, а также вдоль оси ткани, выровненной по организованным волокнам [19]. Именно это свойство сдвиговых волн и используется для выявления феномена повышенной жесткости нерва при ПНП.

Первая публикация, описывавшая опыт применения УЗЭГ сдвиговой волны для оценки жесткости седалищного нерва, появилась в 2016 г.

[25]. Особенностью данной публикации было то, что авторы показали не только возможность применения УЗЭГ сдвиговой волны для оценки состояния седалищного нерва, но и продемонстрировали изменения параметров жесткости в зависимости от положения конечностей и от положения датчика при проведении исследования (например, увеличение индексов жесткости отмечалось после натяжения за счет тыльного сгибания голеностопного сустава в сочетании с разгибанием коленного сустава) [25, 26]. В дальнейшем наличие корреляции между повышенной растягивающей нагрузкой и величиной индексов жесткости было подтверждено не только в рамках эксперимента, но и у пациентов с болью внизу спины [27, 28]. Примечательно, что на стороне поражения индексы жесткости седалищного нерва были всегда выше в сравнении с аналогичным показателем непораженной конечности пациентов (по одним данным — 14,3 кПа против 6,8–8,3 кПа [29], по другим — $20,4 \pm 4,6$ кПа против $12,9 \pm 2,2$ кПа [30]). При этом статистически значимых различий между индексами жесткости непораженной конечности у пациентов с болью внизу спины и в группе контроля отмечено не было [27, 29, 30]. Аналогичная картина (т. е. преобладание индексов жесткости на стороне поражения) была отмечена и при УЗЭГ сдвиговой волны большеберцового нерва [31, 32]. При этом чувствительность и специфичность УЗЭГ сдвиговой волны при оценке состояния большеберцового нерва составила 75 % (95 % ДИ: 68–80) и 86 % (95 % ДИ: 80–90) соответственно, а прогностическая сила модели (AUS) — 0,84 (95 % ДИ: 0,81–0,87) [32]. Более того, оказалось, что УЗЭГ сдвиговой волны позволяет диагностировать ПНП у пациентов, имеющих нормальные показатели времени и скорости проведения, а также амплитуды и длительности потенциалов действия, вызванных стимуляцией нерва (т. е. на ранней стадии) [32–34].

Прогностическая сила модели, основанная на выявлении асимметрии параметров механического напряжения, по одним данным соответствовала уровню 0,867 (при пороговом значении 45,7 кПа) [33], по другим данным — 0,963 (при пороговом значении 70,6 кПа) [35]. Чувствительность и специфичность также оказались достаточно высокими — 74,0 % / 87,6 % [33] и 95,4 % / 94,7 % [35] соответственно. При этом пороговые значения у одного и того же пациента, судя по данным экспериментальных исследований, могли постепенно меняться (нарастать) в соответствии с продолжительностью компрессии [36, 37].

Применительно к нервам пояса нижней конечности (верхние нервы ягодиц, средний ягодичный нерв) методики проведения УЗЭГ

сдвиговой волны пока не проработаны. Причина — вариабельность месторасположения (верхние нервы ягодич) и/или небольшое поперечное сечение нерва (верхние нервы ягодич, средний ягодичный нерв) [16, 39].

Что касается различий пороговых значений индексов жесткости у разных авторов, то это не должно удивлять, поскольку их величина предопределяется сочетанием ряда факторов. Так, например, параметры механического напряжения могут зависеть от следующих факторов: на каком участке нерва проводится измерение (замеры должны проводиться на сопоставимых контрлатеральных участках тазового пояса и свободных нижних конечностей); в каком сечении (в продольном сечении значения индексов жесткости получаются выше, чем при поперечном); при каком поперечном сечении нерва (чем меньше поперечное сечение нерва, тем меньшее количество сдвиговых волн оценивается в зоне интереса); при какой глубине залегания нерва проводилось исследование (при малом поперечном сечении нерва эффективная глубина визуализации ограничивается несколькими сантиметрами, поскольку приходится использовать высокочастотные датчики). Кроме того, на результат влияют положение конечности и происходящая из этого сила натяжения нерва, а также наличие в зоне интереса или структур высокой плотности (костей, связок, сухожилий) и/или на-

оборот — структур низкой плотности (кровеносных сосудов, кистозных образований) [18–20, 22, 25, 26, 28, 34, 37, 38].

Заключение

Применение ультразвуковой эластографии для диагностики мононевропатий пояса нижней конечности и свободной части нижней конечности сдерживается отсутствием четких представлений относительно референсных значений индексов жесткости (кПа, м/с) для конкретных периферических нервов, а также возможного влияния на указанные индексы жесткости артефактов от костей и других сопредельных тканей. Нет также четких представлений и относительно меры сопряженности данных ультразвуковой эластографии и изменений, выявляемых при исследовании нервной проводимости. Кроме того, отсутствует четкий алгоритм выбора методики ультразвуковой эластографии в зависимости от локализации и поперечного сечения нерва. Есть основания полагать, что решение указанных вопросов позволит стандартизировать методику ультразвуковой эластографии применительно к мононевропатиям пояса нижней конечности и свободной части нижней конечности и обеспечит разработку надежных диагностических критериев, удобных для применения в широкой клинической практике.

Список литературы / References

1. Watson JC, Dyck PJ. Peripheral neuropathy: a practical approach to diagnosis and symptom management. *Mayo Clin Proc.* 2015; 90(7):940-951. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mayocp.2015.05.004>
2. Gallardo E, Noto Y, Simon NG. Ultrasound in the diagnosis of peripheral neuropathy: structure meets function in the neuromuscular clinic. *J. of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry.* 2015; 86(10):1066-1074. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/jnnp-2014-309599>
3. Юрковский А.М., Письменникова Е.И., Ачинович С.Л. Дистрофические изменения седалищного нерва: сопоставление ультрасонографических и морфологических данных (пилотное исследование). *Проблемы здоровья и экологии.* 2023; 20(1):101-109. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2023-20-1-12>
4. Yurkovskiy AM, Pismennikova EI, Achinovich SL. Dystrophic changes in the sciatic nerve: a comparison of ultrasonographic and morphological data (pilot study). *Problems of Health and Ecology.* 2023;20(1):101-109. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2023-20-1-12>
4. Simon NG, Cage T, Narvid J, et al. High-resolution ultrasonography and diffusion tensor tractography map normal nerve fascicles in relation to Schwannoma tissue prior to resection. *J Neurosurg.* 2014;120(5):1113-1117. DOI: <https://doi.org/10.3171/2014.2.JNS131975>
5. Sheppard DG, Iyer RB, Fenstermacher MJ. Brachial plexus: demonstration at US. *Radiology.* 1998;208(2):402-406. DOI: <https://doi.org/10.1148/radiology.208.2.9680567>
6. Zaidman CM, Al-Lozi M, Pestronk A. Peripheral nerve size in normals and patients with polyneuropathy: an ultrasound study. *Muscle Nerve.* 2009;40(6):960-966. DOI: <https://doi.org/10.1002/mus.21431>
7. Simon NG, Ralph JW, Poncelet AN, Engstrom JW, Chin C, Kliot M. A comparison of ultrasonographic and electrophysiologic 'inching' in ulnar neuropathy at the elbow. *Clin Neurophysiol.* 2015;126(2):391-398. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.05.023>
8. Tagliafico A, Tagliafico G, Martinoli C. Nerve density: a new parameter to evaluate peripheral nerve pathology on ultrasound. Preliminary study. *Ultrasound Med Biol.* 2010;36(10):1588-1593. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2010.07.009>
9. Boom J, Visser LH. Quantitative assessment of nerve echogenicity: comparison of methods for evaluating nerve echogenicity in ulnar neuropathy at the elbow. *Clin Neurophysiol.* 2012;123(7):1446-1453. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.10.050>
10. Cartwright MS, Walker FO. Neuromuscular ultrasound in common entrapment neuropathies. *Muscle Nerve.* 2013;48(5):696-704. DOI: <https://doi.org/10.1002/mus.23900>
11. Haun DW, Cho JC, Kettner NW. Normative cross-sectional area of the C5-C8 nerve roots using ultrasonography. *Ultrasound Med Biol.* 2010;36(9):1422-1430. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2010.05.012>
12. Won SJ, Kim BJ, Park KS, Park KS, Kim SH, Yoon JS. Measurement of cross-sectional area of cervical roots and brachial plexus trunks. *Muscle Nerve.* 2012;46(5):711-716. DOI: <https://doi.org/10.1002/mus.23503>
13. Ulaşlı AM, Tok F, Karaman A, Yaman F, Dikici O, Oruç S, Özçakar L. Nerve enlargement after cold exposure: a pilot study

- with ultrasound imaging. *Muscle Nerve* 2014;49(4):502-505.
DOI: <https://doi.org/10.1002/mus.23947>
14. Joy V, Therimadasamy AK, Chan YC, Wilder-Smith EP. Combined Doppler and B-mode sonography in carpal tunnel syndrome. *J Neural Sci*. 2011; 308(1-2):16-20.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jns.2011.06.042>
15. Zakrzewski J, Zakrzewska K, Pluta K, Nowak O, Miłoszewska-Paluch A. Ultrasound elastography in the evaluation of peripheral neuropathies: a systematic review of the literature. *Pol J Radiol*. 2019;84:e581-e591.
DOI: <https://doi.org/10.5114/pjr.2019.91439>
16. Юрковский А.М., Назаренко И.В., Мельникова А.С., Письменникова Е.И. Нейропатия верхних ягодичных нервов: нерешенные вопросы лучевой диагностики. *Проблемы здоровья и экологии*. 2021;18(2):12-17.
DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2021-18-2-2>
- Yurkovskiy AM, Nazarenko IV, Melnikova AS, Pismennikova E.I. Neuropathy of the superior gluteal nerves: unresolved issues of medical imaging (literature review) *Problems of Health and Ecology*. 2021;18(2):12-17. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2021-18-2-2>
17. Wang T, Qi H, Chen C, Teng J. Study on the crush injury model of the sciatic nerve in rabbits by conventional ultrasound and elastography. *Current Medical Imaging*. 2023;19(7):764-769.
DOI: <https://doi.org/10.2174/1573405619666221228152506>
18. Shiina T, Nightingale KR, Palmeri ML, Hall TJ, Bamber JC, Barr RiG, Castera L, et al. WFUMB guidelines and recommendations for clinical use of ultrasound elastography: Part 1: basic principles and terminology. *Ultrasound Med Biol*. 2015;41(5):1126-1147.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2015.03.009>
19. Jerban S, Barrère V, Andre M, Chang EY, Shah S. Quantitative ultrasound techniques used for peripheral nerve assessment. *Diagnostics (Basel)*. 2023;13(5): 956.
DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics13050956>
20. Sava S, Miroslav M. The Role of the sciatic nerve ultrasound elastography in the clinical pathway: a meta-analysis. *Arch Orthop*. 2020;1(2):55-60.
DOI: <https://doi.org/10.33696/Orthopaedics.1.009>
21. Santos R, Armada P. Sciatic nerve hardness measurement by using ultrasound elastography. *Ultrasound Med Biol*. 2013;39(5):S57.
22. Neto T, Freitas SR, Andrade RJ, Gomes J, Vaz J, Mendes B, Firmino T, et al. Sciatic nerve stiffness is not changed immediately after a slump neurodynamics technique. *Muscles, Ligaments and Tendons J*. 2017;7(3): 583-589.
DOI: <https://doi.org/10.11138/mltj/2017.7.3.583>
23. Burulday V, Çelebi UO, Öğden M, Akgül MH, Doğan A, Özveren MF. Preoperative and postoperative ultrasound elastography findings of the sciatic nerve in patients with unilateral lumbar foraminal disc herniation: a pre-test and post-test design. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2022;26(6):1923-1929.
DOI: https://doi.org/10.26355/eurrev_202203_28338
24. Ghajarzadeh M, Dadgostar M, Sarraf P, Emami-Razavi SZ, Miri S, Malek M. Application of ultrasound elastography for determining carpal tunnel syndrome severity. *Jpn. J. Radiol*. 2015;33(5):273-278.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11604-015-0416-3>
25. Andrade RJ, Nordez A, Hug F, Ates F, Coppieters MW, Pizarat-Correia P, Freitas SR. Non-invasive assessment of sciatic nerve stiffness during human ankle motion using ultrasound shear wave elastography. *J Biomech*. 2016;49(3):326-331.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.12.017>
26. Andrade RJ, Freitas SR, Hug F, Coppieters MW, Sierrasilvestre E, Nordez A. Spatial variation in mechanical properties along the sciatic and tibial nerves: An ultrasound shear wave elastography study. *J of Biomechanics*. 2022;136: 111075.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2022.111075>
27. Neto T, Freitas SR, Andrade RJ, Vaz JR, Mendes B, Firmino T, Bruno PM, Nordez A, Oliveira R. Noninvasive measurement of sciatic nerve stiffness in patients with chronic low back related leg pain using shear wave elastography. *J Ultrasound Med*. 2019;38(1):157-164.
DOI: <https://doi.org/10.1002/jum.14679>
28. Neto T, Freitas SR, Andrade RJ, Vaz JR, Mendes B, Firmino T, Bruno PM, et al. Shear wave elastographic investigation of the immediate effects of slump neurodynamics in people with sciatica. *J Ultrasound Med*. 2019;39(4): 675-681.
DOI: <https://doi.org/10.1002/jum.15144>
29. Çelebi UO, Burulday V, Özveren MF, Dogan A, Akgül MH. Sonoelastographic evaluation of the sciatic nerve in patients with unilateral lumbar disc herniation. *Skeletal Radiol*. 2019;48(1):129-136.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00256-018-3020-7>
30. Wang Q, Zhang H, Zhang J, Zhang H, Zheng H. The relationship of the shear wave elastography findings of patients with unilateral lumbar disc herniation and clinical characteristics. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2019;20(1): 438.
DOI: <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2814-7>
31. He Y, Xiang X, Zhu B-H, Qiu L Shear wave elastography evaluation of the median and tibial nerve in diabetic peripheral neuropathy. *Quant Imaging Med Surg*. 2019;9(2):273-282.
DOI: <https://doi.org/10.21037/qims.2019.02.05>
32. Dikici AS, Ustabasioglu FE, Delil S, Nalbantoglu M, Korkmaz B, Bakan S, et al. Evaluation of the tibial nerve with shear-wave elastography: a potential sonographic method for the diagnosis of diabetic peripheral neuropathy. *Radiology*. 2017;282(2):494-501.
DOI: <https://doi.org/10.1148/radiol.2016160135>
33. Jiang W, Huang S, Teng H, Wang P, Wu M, Zhou X, et al. Diagnostic performance of two-dimensional shear wave elastography for evaluating tibial nerve stiffness in patients with diabetic peripheral neuropathy. *Eur Radiol*. 2019;29(5):2167-2174.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5858-4>
34. Wee TC, Simon NG. Ultrasound elastography for the evaluation of peripheral nerves: a systematic review. *Muscle Nerve*. 2019;60(5):501-512.
DOI: <https://doi.org/10.1002/mus.26624>
35. Ibrahim HR. Diagnostic value of shear wave ultrasound elastography of tibial nerve in patients with diabetic peripheral neuropathy. *Egyptian J of Radiology and Nuclear Medicine*. 2022;53:102.
DOI: <https://doi.org/10.1186/s43055-022-00779-z>
36. Li D, Zhu J, Liu F, Li B, Liu F, Li W. A quantitative evaluation of sciatic nerve stiffness after compression by shear wave elastography in diabetic rats. *Annals of Translational Medicine*. 2020;8(11):682-682.
DOI: <https://doi.org/10.21037/atm-19-4534>
37. Zhu Y, Jin Z, Luo Y, Wang Y, Peng N, Peng J, Zhang S, 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: <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2019.10.004>
38. Mandeville R, Deshmukh S, Tan ET, Kumar V, Sanchez B, Dowlathahi AS, Luk J, et al. A scoping review of current and emerging techniques for evaluation of peripheral nerve health, degeneration and regeneration: part 2, non-invasive imaging. *J Neural Eng*. 2023;20(4).
DOI: <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ace2>
39. Юрковский А.М., Назаренко И.В., Мельникова А.С. Нейропатия верхних и средних ягодичных нервов: методические аспекты диагностических блокад. *Проблемы здоровья и экологии*. 2020;(4):5-11.
DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2020-17-4-1>
- Yurkovskiy A.M., Nazarenko I.V., Melnikova A.S. Neuropathy of the superior and middle cluneal nerves: methodological aspects of diagnostic blocks. *Problems of Health and Ecology=Problemy Zdorov'ya i Ekologii*. 2020;(4):5-11. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2020-17-4-1>

Информация об авторах / Information about the authors

Юрковский Алексей Михайлович, д.м.н., доцент, заведующий кафедрой лучевой диагностики, лучевой терапии с курсом ФПКП, УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0808-183X>

e-mail: yurkovsky@mail.ru

Письменникова Евгения Игоревна, ассистент кафедры лучевой диагностики, лучевой терапии с курсом ФПКП, УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7496-545X>

e-mail: pismennikova.gsmu@gmail.com

Alexei M. Yurkovskiy, Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Radiation Diagnostics, Radiation Therapy with the course of Advanced Training and Retraining, Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0808-183X>

e-mail: yurkovsky@mail.ru

Evgenia I. Pismennikova, Assistant Lecturer at the department of Radiation Diagnostics, Radiation Therapy with the course of Advanced Training and Retraining, Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7496-545X>

e-mail: pismennikova.gsmu@gmail.com

Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Юрковский Алексей Михайлович

e-mail: yurkovsky@mail.ru

Alexei M. Yurkovskiy

e-mail: yurkovsky@mail.ru

Поступила в редакцию / Received 29.11.2023

Поступила после рецензирования / Accepted 15.01.2024

Принята к публикации / Revised 24.05.2024