

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto568873>

Ценность магнитно-резонансных исследований при использовании контрастного усиления и высокопольных томографов в диагностике невроты Мортон

Д.А. Большакова^{1,2}, А.А. Карданов¹, М.Н. Майсигов¹, А.В. Королёв^{1,2}¹ Европейская клиника спортивной травматологии и ортопедии ECSTO, Москва, Россия;² Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Магнитно-резонансная томография МРТ получает всё более широкое распространение в нашей стране, являясь одним из ведущих методов в диагностике травм и заболеваний голеностопного сустава и стопы. Из года в год количество томографов и исследований неуклонно растёт, а отсутствие ионизирующего излучения, возможность визуализации как мягкотканых, так и костных структур делает эту процедуру более привлекательной для пациентов. Воспроизводимость исследования, возможность получения второго мнения выделяют МРТ как ведущий инструмент в диагностике невром. Несмотря на относительно частое применение, значимость МРТ-диагностики у пациентов с подозрением на межплюсневую невроту с применением парамагнитных средств визуализации, МРТ 3 и 1,5 тесла в полной мере не освещена.

Описание клинических случаев. В работе представлена серия показательных исследований пациентов с межплюсневой невротой: с использованием парамагнитных средств визуализации, без применения парамагнитных средств визуализации, с большой толщиной срезов, на высокопольном томографе.

Заключение. Несмотря на очевидные преимущества использования высокопольной томографии в диагностике заболеваний периферической нервной системы, по нашему мнению, информативность данного исследования в рутинной диагностике невроты Мортон не превышает таковую наиболее распространённой в настоящее время МРТ 1,5 тесла. Использование парамагнитных средств визуализации может показывать небольшие различия, но преимущественно не влияет на тактику лечения.

Ключевые слова: неврома Мортон; МРТ 3 тесла; парамагнитные контрастные вещества.

Как цитировать:

Большакова Д.А., Карданов А.А., Майсигов М.Н., Королёв А.В. Ценность магнитно-резонансных исследований при использовании контрастного усиления и высокопольных томографов в диагностике невроты Мортон // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 4. С. 491–500. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto568873>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto568873>

Diagnostic value of magnetic resonance imaging using contrast enhancement, high-field tomographs in the detection of Morton's neuroma

Daria A. Bolshakova^{1,2}, Andrey A. Kardanov¹, Musa N. Maysigov¹, Andrey V. Korolev^{1,2}

¹ European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics ECSTO, Moscow, Russia;

² Russian University of Peoples' Friendship, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Magnetic resonance imaging (MRI) is becoming more and more widespread in our country, being one of the leading methods in diagnosing injuries and diseases of the ankle joint and foot. From year to year the number of tomographs and studies is steadily increasing, and the absence of ionising radiation, the possibility of visualising both soft tissue and bone structures makes this procedure more attractive for patients. Reproducibility of the study, the possibility of obtaining a second opinion distinguish MRI as a leading tool in the diagnosis of neuromas. Despite its relatively frequent use, the significance of MRI diagnosis in patients with suspected intertarsal neuroma using paramagnetic imaging, 3 tesla and 1.5 tesla MRI has not been fully reported.

CLINICAL CASES DESCRIPTION: The article presents a series of illustrative studies of patients with intermetatarsal neuroma: using paramagnetic imaging tools, without the use of paramagnetic imaging tools, with large slice thickness, with high-field tomography.

CONCLUSION: Despite the obvious advantages of using high-field imaging in the diagnosis of peripheral nervous system diseases, in our opinion, the informative value of this study in the routine diagnosis of Morton's neuroma does not exceed that of the currently most common 1.5 tesla MRI.

Keywords: Morton neuroma; MRI 3 Tesla; contrast.

To cite this article:

Bolshakova DA, Kardanov AA, Maysigov MN, Korolev AV. Diagnostic value of magnetic resonance imaging using contrast enhancement, high-field tomographs in the detection of Morton's neuroma. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(4):491–500. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto568873>

Received: 07.09.2023

Accepted: 24.10.2023

Published: 24.11.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Межпальцевая неврома — это веретенообразное утолщение подошвенного нерва, возникающее в результате его периневрального фиброза и дегенерации. Она вызывает симптомы, связанные с защемлением подошвенно-пальцевого нерва: жжение, покалывание, онемение, парестезии в малых пальцах стоп. Это распространённое заболевание, затрагивающее в основном женщин среднего возраста и встречающееся у женщин до 5 раз чаще, чем у мужчин [1].

Этиология метатарзалгии Мортона мультифакторна, влияние оказывают хроническая травматизация, локальная ишемия нерва, бурсит, защемление дистальной частью межплюсневой связки [2].

Впервые неврома межплюсневой промежутка была описана Civinini в 1835 году при исследовании кадаверного материала. Своё название неврома Мортона получила в честь американского хирурга-ортопеда Thomas Morton, впервые описавшего весь симптомокомплекс заболевания у 15 пациентов [2].

Межпальцевая неврома встречается в третьем межпальцевом промежутке в 66% случаев, во втором — в 32% [3]. По данным литературы, для подобного распределения имеются выраженные анатомические предпосылки: 3-й плюсневый нерв толще, поскольку он обычно образуется в результате слияния медиального и латерального подошвенных нервов [2].

Дифференциальная диагностика межплюсневой невromы включает перегрузочную метатарзалгию, разрыв или тендинит подошвенного апоневроза, болезнь Фрайберга, стрессовый перелом плюсневых костей, начальные проявления системных артритов, межплюсневый бурсит [4–6].

Для уточнения диагноза и определения дальнейшей тактики лечения у пациентов с подозрением на неврому Мортона в современной клинической практике используют ультразвуковое исследование (УЗИ) и магнитно-резонансную томографию (МРТ) [7]. В настоящее время трудно сделать однозначный вывод о предпочтительном методе визуализации для диагностики невromы Мортона. В частности, большинство существующих исследований были проведены в центрах, где предпочтение отдавалось одному методу. МРТ дороже и занимает больше времени. Однако у него есть преимущество в предоставлении статичных, не зависящих от оператора, воспроизводимых изображений, которые могут быть интерпретированы несколькими клиницистами [2]. МРТ также позволяет визуализировать все окружающие мягкие ткани и кости, что облегчает дифференциальную диагностику [8].

Исследования, опубликованные ранее, проводились с помощью МРТ с напряжённостью 1 или 1,5 тесла [8]. Кроме того, не определены показания для использования контраста при визуализации невromы Мортона,

в зарубежной литературе можно встретить упоминания об избыточности применения контрастного усиления [9, 10]. Нет единого мнения и о ведущей последовательности в диагностике невromы: в исследованиях Zanetti и соавт., Lee и соавт., Williams и соавт. предпочтение отдаётся последовательностям T1 ВИ, в исследовании George и соавт. — STIR [9–12].

Основной целью нашей работы была оценка значимости МРТ-диагностики у пациентов с подозрением на межплюсневую неврому с применением парамагнитных средств визуализации, МРТ 3 и 1,5 тесла в клинической практике. Для этого был проведён анализ магнитно-резонансной томографии и амбулаторных карт показательных пациентов с диагнозом «неврома Мортона». Первично все исследуемые были осмотрены по стандартизованному протоколу: сбор жалоб и анамнеза, визуальная оценка стопы или стоп, пальпация и специализированные клинические тесты: щелчок Малдера, компрессионный тест, наличие МРТ-исследования, проведённого в нашей или сторонней клинике. Учитывая отсутствие специфического протокола исследования, специально направленного на визуализацию невromы Мортона, а также стандартизованного описания, нами была подобрана серия исследований с использованием парамагнитных средств визуализации, без применения парамагнитных средств визуализации, с большой толщиной срезов, на высокопольном томографе.

ОПИСАНИЕ КЛИНИЧЕСКИХ СЛУЧАЕВ

Пример 1

Пациент К., 55 лет. Обратился в клинику с жалобами на боль и онемение в третьем межпальцевом промежутке левой стопы. Вышеуказанные жалобы беспокоили около 3 лет, преимущественно при занятиях триатлоном. Пациенту выполнена МРТ с использованием томографа Magnetom Aera 1.5 T фирмы Siemens и 16-канальной радиочастотной катушки для стопы и лодыжки. Протокол МРТ-исследования включал получение изображений в сагиттальной, аксиальной и коронарной плоскостях. Для контрастного усиления внутривенно вводили неионогенное парамагнитное контрастное вещество прохэнс (гадотеридол) в дозе 8,6 ммоль, рассчитанной по весу пациента, из расчёта 0,1 ммоль/кг веса, после получения нативных последовательностей.

На полученных нами МР-последовательностях на уровне головок третьей и четвёртой плюсневых костей неврома третьего межпальцевого промежутка видна и без контрастного усиления на T1- и T2-взвешенных последовательностях (рис. 1а–с). При контрастном усилении полученный смешанный сигнал (рис. 1d) свидетельствует об отёке оболочки нерва и умеренно выраженном бурсите, что напрямую коррелирует с клинической картиной и длительным анамнезом заболевания.

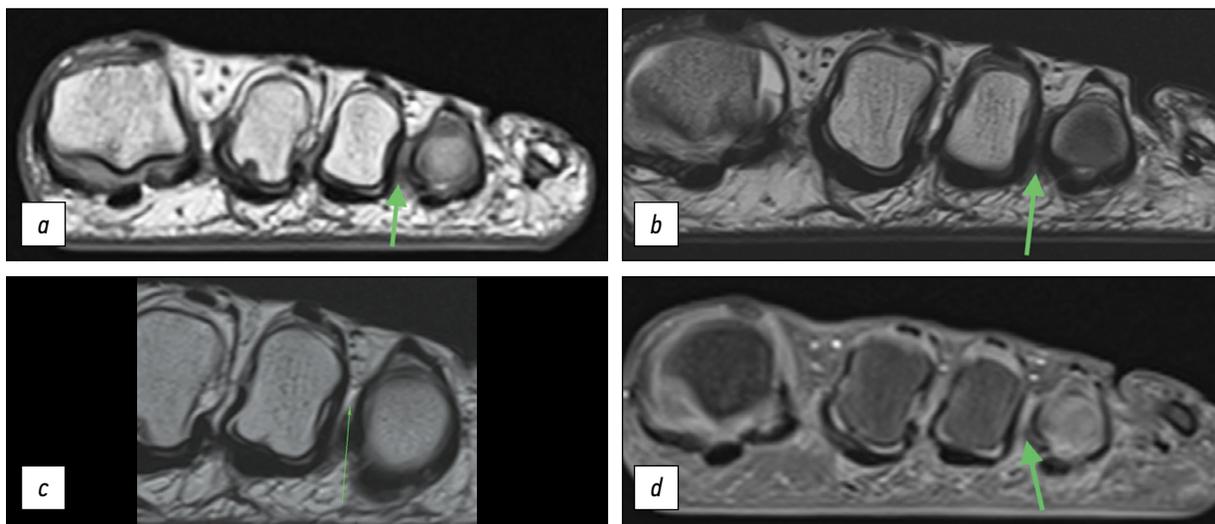


Рис. 1. Пациент К., магнитно-резонансная томография: *a* — гипointенсивный сигнал по сравнению с окружающими тканями при T1-взвешенной последовательности, неврома третьего межпальцевого промежутка; *b* — гипointенсивный сигнал по сравнению с окружающими тканями при T2-взвешенной последовательности, неврома третьего межпальцевого промежутка; *c* — участок гипointенсивного сигнала при T2-взвешенной последовательности (бурсит), срез, следующий за изображением *b* в дистальном направлении; *d* — смешанный гипо- и гиперинтенсивный сигнал (участок затемнения — отёчная оболочка нерва, окружающий гипointенсивный сигнал периневральный фиброз). Режим T1 FS после введения контраста.

Fig. 1. Patient K., MRI image: *a* — hypointensive signal compared to surrounding tissues with a T1-weighted sequence, neuroma of the third interdigital space; *b* — hypointensive signal compared to surrounding tissues with a T2-weighted sequence, neuroma of the third interdigital space; *c* — area of hyperintense signal on T2-weighted sequence (bursitis), the distal direction from image *b*; *d* — mixed hypo- and hyperintense signal (shaded area — edematous nerve sheath, perineural fibrosis surrounding the hypointense signal). T1 FS mode after contrast.

Пример 2

Пациент С., 49 лет. Обратился к нам в клинику с уже выполненным в сторонней клинике МРТ-исследованием. Боль в обоих стопах и парестезии с иррадиацией в третий, четвёртый и пятый пальцы беспокоили около 4 лет при высоких нагрузках на ноги (бег, альпинизм, туризм). По клиничко-анамнестическим данным заподозрены невромы третьего и четвёртого межпальцевых промежутков. На предоставленной МРТ T2-последовательность отсутствует, толщина срезов 3,5 мм. На изображениях видна неврома в третьем межплюсневом промежутке обеих стоп (только на корональных срезах), однако признаков периневрального фиброза в четвёртом межплюсневом промежутке нет (рис. 2*a–d*). Пациенту было предложено выполнить МРТ повторно, однако после обсуждения тактики лечения пациент предпочёл выполнить хирургическую ревизию обоих подошвенных нервов на обеих стопах. При хирургическом лечении и последующем гистологическом исследовании были обнаружены невромы третьего и четвёртого промежутков обеих стоп (рис. 2*e–g*).

На предоставленной нам МРТ из сторонней клиники отсутствует T2-взвешенная последовательность, изображение нечёткое. Невромы в четвёртом межпальцевом промежутке не визуализируются ни в одной из последовательностей в связи с малым размером (длина 0,4 см согласно протоколу гистологического исследования). Отсутствие адекватной визуализации поражённой части нерва четвёртого межпальцевого промежутка показывает

крайне низкую диагностическую ценность исследования и при сопоставлении с клиничко-анамнестическими данными, требует выполнения повторной томографии.

Пример 3

Пациентка Г., 30 лет. Периодические боли в переднем отделе обеих стоп беспокоят около полугода. За последний месяц отметила значительное ухудшение — дистанция безболевого ходьбы не более 50 метров. На данный момент пациентка проходит курс консервативного лечения препаратом габапентин в дозировке 300 мг со слабым положительным эффектом. На протяжении всего текущего периода обострения пациентка нетрудоспособна. Ранее была консультирована в сторонней клинике, выполнено УЗИ, выявлены признаки двусторонней невромы Мортона. Обратилась к нам в клинику для получения второго мнения с уже выполненным в сторонней клинике МРТ-исследованием на аппарате с напряжённостью магнитного поля 3 тесла (Canon Vantage Titan 3T). При этом толщина срезов на представленных МР-последовательностях составила 4 мм.

На представленном нам исследовании из сторонней клиники на томографе напряжённостью 3 тесла толщина срезов составляет 4 мм. При подобном исследовании неврома менее 5 мм будет практически не видна. Столь явную неврому на столь скудном количестве срезов (26–27) мы видим из-за её большого размера: 12 мм правая стопа (рис. 3*a–c*) и 9,5 мм — левая (рис. 3*d–e*). Кроме того,

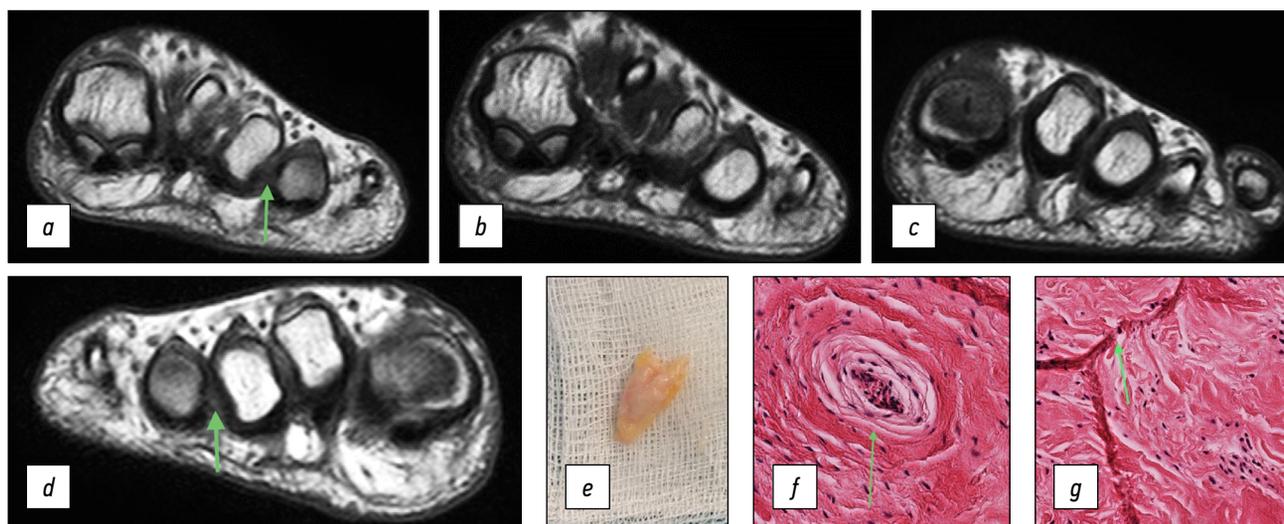


Рис. 2. Пациент С., магнитно-резонансная томография, резецированный участок нерва, микропрепарат: *a* — МРТ: гипоинтенсивный сигнал по сравнению с окружающими тканями при T1-взвешенной последовательности, правая стопа; неврома третьего межпальцевого промежутка; *b, c* — МРТ: неинформативные срезы в дистальном и проксимальном направлениях (толщина срезов 3,5 мм), правая стопа; T1-взвешенная последовательность; *d* — МРТ: гипоинтенсивный сигнал по сравнению с окружающими тканями при T1-взвешенной последовательности, левая стопа; неврома третьего межпальцевого промежутка; *e* — участок резецированного материала четвёртого межпальцевого промежутка, левая стопа (фото); *f* — фиброз «onion skin» (фото, микропрепарат); *g* — истончение кровеносных сосудов (фото, микропрепарат).

Fig. 2. Patient С., MRI imaging, resected portion of the nerve, microscopic specimen: *a* — MRI: hypointense signal compared to surrounding tissues with a T1-weighted sequence, right foot; neuroma of the third interdigital space; *b, c* — MRI: uninformative sections in the distal and proximal directions (section thickness 3.5 mm), right foot; T1-weighted sequence; *d* — MRI: hypointense signal compared to surrounding tissues on T1-weighted sequence, left foot; neuroma of the third interdigital space; *e* — area of resected material of the fourth interdigital space, left foot (photo); *f* — “onion skin” fibrosis (photo, microscopic specimen); *g* — thinning of blood vessels (photo, microscopic specimen).

учитывая подострое начало заболевания, хорошо видны отёк подкожно-жировой клетчатки и сопутствующий бурсит (рис. 3с).

Пример 4

Пациент 3., боль в переднем отделе правой стопы беспокоит длительное время. Неоднократно выполнял УЗИ, установлен диагноз «неврома Мортона». Для уточнения диагноза и определения дальнейшей тактики лечения, оценки динамики роста невromы пациенту выполнена МРТ 3 тесла на аппарате Siemens Magnetom Lumina (толщина срезов ряда последовательностей 630 μ m, количество изображений в серии 60–120). На МРТ — неврома Мортона в третьем межпальцевом промежутке длиной 11 мм и шириной 5,5 мм на уровне бифуркации подошвенного пальцевого нерва. Полученный нами размер новообразования сопоставим с данными, полученными при МРТ, и составил 12 мм в длину. Однако при просмотре последовательностей с толщиной срезов 2 мм мы увидели сопоставимый результат.

На представленных нами изображениях (рис. 4) неврома видна на МРТ и на тонких, и на толстых срезах. Однако МРТ 3 тесла позволила нам лучше визуализировать неврому для прояснения дальнейшей хирургической тактики лечения с пациентом и спрогнозировать потенциальный участок гипестезии третьего и четвёртого пальцев.

ОБСУЖДЕНИЕ

Возможность диагностики невromы при помощи МРТ одними из первых описали Erickson и соавт. в своём исследовании 1991 года [13]. В первой половине 1990-х годов были опубликованы исследования, которые предлагали комбинацию последовательностей с жироподавлением и контрастное усиление для диагностики невromы Мортона [14, 15]. В настоящее время не существует общепринятого алгоритма визуализации межпальцевой невromы: даже в нашей клинике разные хирурги отдают предпочтение разным методам исследования, как с применением контрастных веществ, так и без него.

Патофизиология невromы представляет собой не истинную опухоль нерва, а периневральный фиброз — патологическое разрастание соединительной ткани, которая пытается защитить участок нерва, передавленный межплюсневой связкой [2]. При МРТ-визуализации фиброз выглядит как объёмное образование со средней или гипоинтенсивностью сигнала на T1-взвешенных изображениях и с низкой интенсивностью сигнала на T2-взвешенных изображениях [9].

Несмотря на то, что использование парамагнитных контрастов при МРТ существенно реже вызывает нежелательные явления по сравнению с йод- и барийсодержащими контрастными препаратами, применяемыми при рентгеновском исследовании и компьютерной

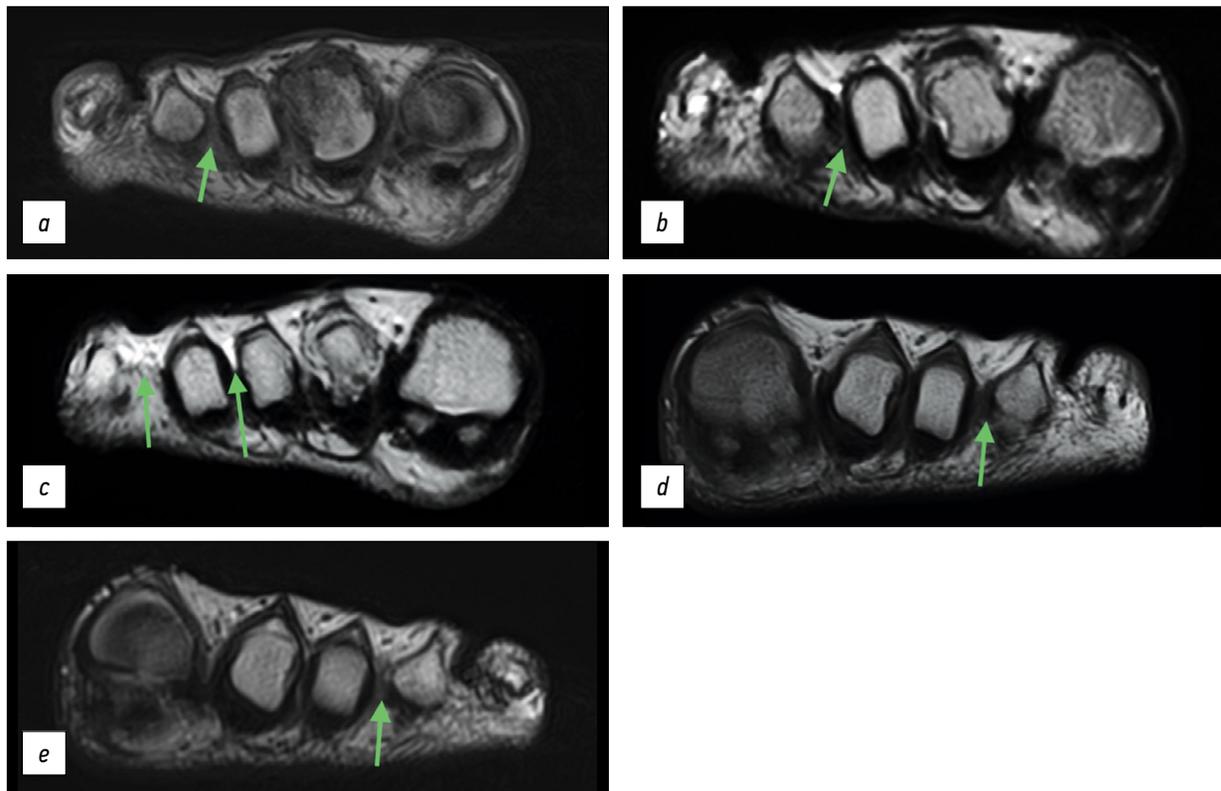


Рис. 3. Пациентка Г., магнитно-резонансная томография: *a* — гипоинтенсивный сигнал по сравнению с окружающими тканями при T1-взвешенной последовательности, правая стопа; неврома третьего межпальцевого промежутка; *b* — гипоинтенсивный сигнал по сравнению с окружающими тканями при T2-взвешенной последовательности, правая стопа; неврома третьего межпальцевого промежутка; *c* — участок гиперинтенсивного сигнала при T2-взвешенной последовательности (бурсит), отёк подкожно-жировой клетчатки, срез, следующий за изображением *b* в проксимальном направлении, правая стопа; *d* — гипоинтенсивный сигнал по сравнению с окружающими тканями при T1-взвешенной последовательности, левая стопа; неврома третьего межпальцевого промежутка; *e* — гипоинтенсивный сигнал по сравнению с окружающими тканями при T2-взвешенной последовательности, левая стопа; неврома третьего межпальцевого промежутка.

Fig. 3. Patient G., MRI imaging: *a* — hypointense signal compared to surrounding tissues with a T1-weighted sequence, right foot; neuroma of the third interdigital space; *b* — hypointense signal compared to surrounding tissues with a T2-weighted sequence, right foot; neuroma of the third interdigital space; *c* — area of hyperintense signal on T2-weighted sequence (bursitis), subcutaneous fat edema, slice following image *b* in the proximal direction, right foot; *d* — hypointense signal compared to surrounding tissues on T1-weighted sequence, left foot; neuroma of the third interdigital space; *e* — hypointense signal compared to surrounding tissues on T2-weighted sequence, left foot; neuroma of the third interdigital space.

томографии, их количество не равно нулю. Среди часто встречающихся побочных эффектов — тошнота, головная боль, местные аллергические реакции [16]. Кроме того, МРТ с контрастным усилением значительно увеличивает время исследования и как следствие — нагрузку на медицинский персонал и томограф. При этом, на наш взгляд, те преимущества, которые даёт контрастное усиление, нивелируются его минусами: повышением стоимости исследования, временем и трудозатратами, рисками. Наше мнение совпадает с мнением зарубежных коллег, несмотря на то, что, по данным Terk и соавт., МРТ с контрастом значительно улучшает видимость невром [14]. Другие исследования не продемонстрировали какого-либо превосходства последовательностей, усиленных контрастом [9, 10, 12].

Более того, в современной зарубежной литературе встречаются сообщения не только об избыточности

применения парамагнитных средств визуализации в диагностике невромы Мортона, но и в самой МРТ [7].

Безусловно, при каждом новообразовании любой локализации стоит сохранять онкологическую настороженность и использовать контрастное усиление. Поражение, лишённое признаков конкретного доброкачественного образования, следует рассматривать как злокачественное до тех пор, пока не будет доказано обратное. Признаки, которые чаще встречаются при злокачественных, чем при доброкачественных поражениях, включают большой размер (>5 см), глубокое расположение, неоднородную интенсивность сигнала, кровотечение и некроз, раннее и неоднородное контрастное усиление, нервные края, отёк окружающих мягких тканей и инвазию соседних структур, включая костные и сосудисто-нервные структуры [17]. Кроме того, использование контраста оправдано при проведении дифференциальной диагностики

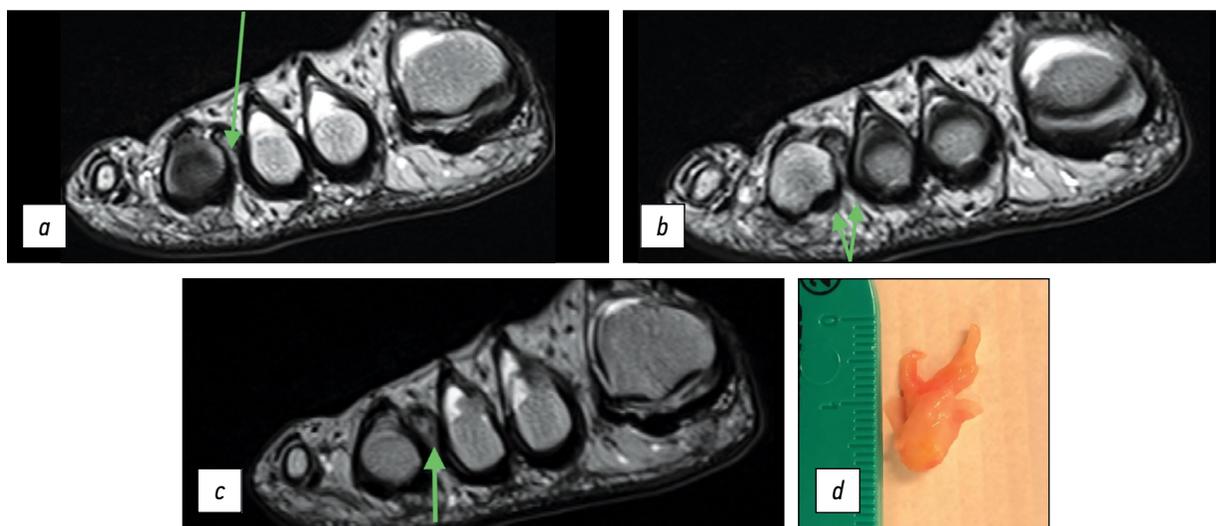


Рис. 4. Пациент З., магнитно-резонансная томография, резецированный участок нерва: *a* — гипоинтенсивный сигнал по сравнению с окружающими тканями при T2-взвешенной последовательности (толщина срезов 630 микрометров), неврома третьего межпальцевого промежутка; *b* — T2-взвешенная последовательность (толщина срезов 630 микрометров), срез, следующий за изображением *a* в дистальном направлении: бифуркация общего подошвенного пальцевого нерва на медиальную и латеральную поверхности третьего и четвертого пальцев соответственно; *c* — гипоинтенсивный сигнал по сравнению с окружающими тканями при T2-взвешенной последовательности (толщина срезов 2 мм), неврома третьего межпальцевого промежутка; *d* — резецированный участок нерва.

Fig. 4. Patient Z., MRI imaging, resected portion of the nerve: *a* — hypointense signal compared to the surrounding tissues with a T2-weighted sequence (slice thickness 630 micrometers), neuroma of the third interdigital space; *b* — T2-weighted sequence (slice thickness 630 micrometers), image *a* in the distal direction: bifurcation of the common plantar digital nerve on the medial and lateral surfaces of the third and fourth fingers; *c* — hypointense signal compared to surrounding tissues on T2-weighted sequence (slice thickness 2 mm), neuroma of the third interdigital space; *d* — resected portion of the nerve.

при повреждении капсульно-связочного аппарата плюснефаланговых суставов (подошвенно-пальцевой пластинки) [6].

Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США FDA одобрило МРТ 3 тесла в 2000 году, с тех пор данный сканер всё чаще используется в клинической практике. Сегодня применение магнита 3 тесла в нейрорадиологии имеет гораздо больше преимуществ, чем недостатков, и с каждым годом расширяет свой диагностический потенциал для структурного и сосудистого сканирования, диффузионной и перфузионной визуализации. МРТ высокого разрешения нашла своё применение и в диагностике травм и заболеваний периферической нервной системы. На обычной томографии можно увидеть лишь косвенные признаки повреждения нервов, такие как денервация мышц и отёк, МРТ с высоким разрешением позволяет визуализировать непосредственно повреждённые и компрессированные нервы, включая их меньшие периферические ветви [18]. Различные технические достижения, включая более высокую напряжённость поля (например, 3 тесла), получение 3D-изображений, эволюцию методов подавления жира и улучшенную конструкцию катушки, позволяют получать изображения всё более высокого качества. Неинвазивная оценка повреждения периферических нервов помогает улучшить диагностику и предоперационное планирование, скорректировать тактику послеоперационного

ведения — свидетельствовать о заживлении или дегенерации нерва, наличии невромы [19].

В зарубежной литературе в настоящее время имеется только одна современная работа, посвящённая особенностям исследования невром при МРТ 3 тесла с контрастным усилением, которая показала отличные результаты визуализации 97,4% образований, в том числе малого размера (1,2–5,5 мм) [8]. Однако в современной зарубежной и отечественной литературе широко рассматриваются потенциальные заболевания и побочные эффекты, выявленные у пациентов и связанные с накоплением гадолиния, включающие нефрогенный системный фиброз и болезнь отложения гадолиния [16, 20, 21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из приоритетных задач в современной медицине является получение точной и достоверной информации о состоянии пациента с целью выявления заболевания, проведения дифференциальной диагностики и определения дальнейшей тактики лечения.

Применение контрастных веществ при МРТ-визуализации у пациентов с подозрением на неврому Мортон, по нашему мнению, является избыточным. Использование парамагнитных средств при визуализации оправдано в случае подозрения неопластического процесса.

МРТ 3 тесла является отличным инструментом диагностики невротомы, уменьшая время исследования, увеличивая количество вокселей и, как следствие и разрешение, позволяя увидеть многие нервные структуры, в том числе и общий подошвенный пальцевый нерв. Однако стоит обращать внимание на толщину срезов, а не на напряжённость магнитного поля МРТ. По нашему мнению, широкое распространение МРТ 3 тесла открывает возможности для спекуляции и является в случае диагностики невротомы Мортонa больше маркетинговым ходом, чем диагностически ценным исследованием, особенно при одинаковой толщине срезов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Д.А. Большакова — лечение пациентов, обработка и обсуждение результатов исследования, написание текста статьи; А.А. Карданов — лечение пациентов, обсуждение результатов исследования; М.Н. Майсигов — лечение пациентов, поисково-аналитическая работа, обсуждение результатов исследования; А.В. Королёв — формулировка научных положений.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Munir U., Tafti D., Morgan S. Morton Neuroma. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2022.
2. Colò G., Rava A., Samaila E.M., Palazzolo A., Talesa G., Schiraldi M., Magnan B., Ferracini R., Felli L. The effectiveness of shoe modifications and orthotics in the conservative treatment of Civinini-Morton syndrome: state of art // *Acta Bio Medica Atenei Parmensis*. 2020. Vol. 91, № 4-S. P. 60–68. doi: 10.23750/abm.v91i4-S.9713
3. Zaleski M., Tondelli T., Hodel S., Rigling D., Wirth S. The interphalangeal angle as a novel radiological measurement tool for Morton's neuroma — a matched case-control study // *Journal of Foot and Ankle Research*. 2021. Vol. 14, № 1. P. 62. doi: 10.1186/s13047-021-00502-7
4. Салтыкова В.Г., Рамонова Д.Р., Макинян Л.Г., Зейналов В.Т., Шток А.В., Митьков В.В. Ультразвуковое исследование в дифференциальной диагностике образований метатарзального отдела стопы (неврома Мортонa, липофиброма) // *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2021. № 1. С. 65–88.
5. Dakkak Y.J., Niemantsverdriet E., van der Helm-van Mil A.H.M., Reijnierse M. Increased frequency of intermetatarsal and submetatarsal bursitis in early rheumatoid arthritis: a large case-controlled MRI study // *Arthritis Research & Therapy*. 2020. Vol. 22, № 1. P. 277. doi: 10.1186/s13075-020-02359-w
6. Dinoá V., von Ranke F., Costa F., Marchiori E. Evaluation of lesser metatarsophalangeal joint plantar plate tears with contrast-enhanced

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведённым исследованием и публикацией настоящей статьи.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на публикацию медицинских данных и фотографий. Пациенты добровольно подписали форму информированного согласия на публикацию персональной медицинской информации в обезличенной форме.

ADDITIONAL INFO

Author contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. D.A. Bolshakova — treatment of patients, processing and discussion of research results, writing the text of the article; A.A. Kardanov — treatment of patients, discussion of research results; M.N. Maisigov — treatment of patients, search and analytical work, discussion of research results; A.V. Korolev — formulation of scientific provisions.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

- and fat-suppressed MRI // *Skeletal Radiology*. 2016. Vol. 45, № 5. P. 635–644. doi: 10.1007/s00256-016-2349-z
7. Raouf T., Rogero R., McDonald E., Fuchs D., Shakked R.J., et al. Value of Preoperative Imaging and Intraoperative Histopathology in Morton's Neuroma // *Foot & Ankle International*. 2019. Vol. 40, № 9. P. 1032–1036. doi: 10.1177/1071100719851121
8. Ormeci T., Guler O., Malkoc M., Kaya N. Evaluating the features of interdigital neuroma using 3-Tesla magnetic resonance imaging // *European Journal of Anatomy*. 2023. Vol. 27, № 2. P. 171–180. doi: 10.52083/OLLN3191
9. Lee M.-J., Kim S., Huh Y.-M., Song H.-T., Lee S.-A., Lee J.W., Suh J.-S. Morton Neuroma: Evaluated with Ultrasonography and MR Imaging // *Korean Journal of Radiology*. 2007. Vol. 8, № 2. P. 148–155. doi: 10.3348/kjr.2007.8.2.148
10. Williams J.W., Meaney J., Whitehouse G.H., Klenerman L., Hussein Z. MRI in the investigation of morton's neuroma: Which sequences? // *Clinical Radiology*. 1997. Vol. 52, № 1. P. 46–49. doi: 10.1016/s0009-9260(97)80305-4
11. George V.A., et al. Morton's neuroma: the role of MR scanning in diagnostic assistance // *The Foot*. 2005. Vol. 15, № 1. P. 14–16.
12. Zanetti M., Ledermann T., Zollinger H., Hodler J. Efficacy of MR imaging in patients suspected of having Morton's neuroma // *American Journal of Roentgenology*. 1997. Vol. 168, № 2. P. 529–532. doi: 10.2214/ajr.168.2.9016241

13. Erickson S.J., Canale P.B., Carrera G.F., Johnson J.E., Shereff M.J., Gould J.S., Hyde J.S., Jesmanowicz A. Interdigital (Morton) neuroma: high-resolution MR imaging with a solenoid coil // *Radiology*. 1991. Vol. 181, № 3. P. 833–836. doi: 10.1148/radiology.181.3.1947106
14. Terk M.R., Kwong P.K., Suthar M., Horvath B.C., Colletti P.M. Morton neuroma: evaluation with MR imaging performed with contrast enhancement and fat suppression // *Radiology*. 1993. Vol. 189, № 1. P. 239–241. doi: 10.1148/radiology.189.1.8372200
15. Unger H.R. Jr, Mattoso P.Q., Drusen M.J., Neumann C.H. Gadopentetate-enhanced magnetic resonance imaging with fat saturation in the evaluation of Morton's neuroma // *The Journal of Foot Surgery*. 1992. 31, № 3. P. 244–246.
16. Гомболевский В.А., Лайпан А.Ш., Бадюл М.И., Инджиев А.А., Буренчев Д.В., Шапиев А.Н., Ким С.Ю., Морозов С.П. Особенности применения контрастных препаратов в лучевой диагностике. Москва, 2018. 55 с.
17. Hughes P., Miranda R., Doyle A.J. MRI imaging of soft tissue tumours of the foot and ankle // *Insights into Imaging*. 2019. Vol. 10, № 1. P. 60. doi: 10.1186/s13244-019-0749-z
18. Khalilzadeh O., Fayad L. M., Ahlawat S. 3D MR Neurography // *Seminars in Musculoskeletal Radiology*. 2021. Vol. 25, № 3. P. 409–417. doi: 10.1055/s-0041-1730909
19. Goyal A., Wadgera N., Srivastava D., Ansari M.T., Dawar R. Imaging of traumatic peripheral nerve injuries // *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. 2021. Vol. 21. P. 101510. doi: 10.1016/j.jcot.2021.101510
20. Ibrahim M.A., Hazhirkarzar B., Dublin A.B. *Gadolinium Magnetic Resonance Imaging*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023.
21. Iyad N., Ahmad M.S., Alkhatib S., Hjouj M. Gadolinium contrast agents—challenges and opportunities of a multidisciplinary approach: Literature review // *European Journal of Radiology Open*. 2023. Vol. 11, № 5. P. 100503. doi: 10.1016/j.ejro.2023.100503

REFERENCES

1. Munir U, Tafti D, Morgan S. *Morton Neuroma*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022.
2. Colò G, Rava A, Samaila EM, Palazzolo A, Talesa G, Schiraldi M, Magnan B, Ferracini R, Felli L. The effectiveness of shoe modifications and orthotics in the conservative treatment of Civinini-Morton syndrome: state of art. *Acta Bio Medica Atenei Parmensis*. 2020;91(4-S):60–68. doi: 10.23750/abm.v91i4-S.9713
3. Zaleski M, Tondelli T, Hodel S, Rigling D, Wirth S. The interphalangeal angle as a novel radiological measurement tool for Morton's neuroma — a matched case-control study. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2021;14(1):62. doi: 10.1186/s13047-021-00502-7
4. Saltykova VG, Ramonova DR, Makinyan LG, Zeynalov VT, Shtok AV, Mitkov VV. Ultrasound in foot lesion diagnosis (Morton's neuroma, lipofibroma). *Ultrasound & Functional Diagnostics*. 2021;(1):65–88. (In Russ).
5. Dakkak YJ, Niemantsverdriet E, van der Helm-van Mil AHM, Reijnierse M. Increased frequency of intermetatarsal and submetatarsal bursitis in early rheumatoid arthritis: a large case-controlled MRI study. *Arthritis Research & Therapy*. 2020;22(1):277. doi: 10.1186/s13075-020-02359-w
6. Dinoá V, von Ranke F, Costa F, Marchiori E. Evaluation of lesser metatarsophalangeal joint plantar plate tears with contrast-enhanced and fat-suppressed MRI. *Skeletal Radiology*. 2016;45(5):635–644. doi: 10.1007/s00256-016-2349-z
7. Raouf T, Rogero R, McDonald E, Fuchs D, Shakked RJ, et al. Value of Preoperative Imaging and Intraoperative Histopathology in Morton's Neuroma. *Foot & Ankle International*. 2019;40(9):1032–1036. doi: 10.1177/1071100719851121
8. Ormeci T, Guler O, Malkoc M, Kaya N. Evaluating the features of interdigital neuroma using 3-Tesla magnetic resonance imaging. *European Journal of Anatomy*. 2023;27(2):171–180. doi: 10.52083/OLLN3191
9. Lee M-J, Kim S, Huh Y-M, Song H-T, Lee S-A, Lee JW, Suh J-S. Morton Neuroma: Evaluated with Ultrasonography and MR Imaging. *Korean Journal of Radiology*. 2007;8(2):148–155. doi: 10.3348/kjr.2007.8.2.148
10. Williams JW, Meaney J, Whitehouse GH, Klenerman L, Hussein Z. MRI in the investigation of morton's neuroma: Which sequences? *Clinical Radiology*. 1997;52(1):46–49. doi: 10.1016/s0009-9260(97)80305-4
11. George VA, et al. Morton's neuroma: the role of MR scanning in diagnostic assistance. *The Foot*. 2005;15(1):14–16.
12. Zanetti M, Ledermann T, Zollinger H, Hodler J. Efficacy of MR imaging in patients suspected of having Morton's neuroma. *American Journal of Roentgenology*. 1997;168(2):529–532. doi: 10.2214/ajr.168.2.9016241
13. Erickson SJ, Canale PB, Carrera GF, Johnson JE, Shereff MJ, Gould JS, Hyde JS, Jesmanowicz A. Interdigital (Morton) neuroma: high-resolution MR imaging with a solenoid coil. *Radiology*. 1991;181(3):833–836. doi: 10.1148/radiology.181.3.1947106
14. Terk MR, Kwong PK, Suthar M, Horvath BC, Colletti PM. Morton neuroma: evaluation with MR imaging performed with contrast enhancement and fat suppression. *Radiology*. 1993;189(1):239–241. doi: 10.1148/radiology.189.1.8372200
15. Unger HR Jr, Mattoso PQ, Drusen MJ, Neumann CH. Gadopentetate-enhanced magnetic resonance imaging with fat saturation in the evaluation of Morton's neuroma. *The Journal of Foot Surgery*. 1992;31(3):244–246.
16. Gombolevsky VA, Laipan AS, Badyul MI, Indzhiev AA, Burenchev DV, Shapieva AN, Kim SYu, Morozov SP. *Features of the use of contrast agents in radiation diagnostics*. Moscow; 2018. 55 p. (In Russ).
17. Hughes P, Miranda R, Doyle AJ. MRI imaging of soft tissue tumours of the foot and ankle. *Insights into Imaging*. 2019;10(1):60. doi: 10.1186/s13244-019-0749-z
18. Khalilzadeh O, Fayad LM, Ahlawat S. 3D MR Neurography. *Seminars in Musculoskeletal Radiology*. 2021;25(3):409–417. doi: 10.1055/s-0041-1730909
19. Goyal A, Wadgera N, Srivastava D, Ansari MT, Dawar R. Imaging of traumatic peripheral nerve injuries. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. 2021;21:101510. doi: 10.1016/j.jcot.2021.101510
20. Ibrahim MA, Hazhirkarzar B, Dublin AB. *Gadolinium Magnetic Resonance Imaging*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.
21. Iyad N, Ahmad MS, Alkhatib S, Hjouj M. Gadolinium contrast agents—challenges and opportunities of a multidisciplinary approach: Literature review. *European Journal of Radiology Open*. 2023;11(5):100503. doi: 10.1016/j.ejro.2023.100503

ОБ АВТОРАХ

*** Большакова Дарья Артуровна;**

адрес: 129110, г. Москва, Россия, Орловский переулок, дом 7;
ORCID: 0009-0003-3332-9267;
eLibrary SPIN: 9584-9980;
e-mail: dasha.bolsh@gmail.com

Карданов Андрей Асланович, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0003-2866-2295;
eLibrary SPIN: 5134-8123;
e-mail: akardanov@emcmos.ru

Майсигов Муса Назирович, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0002-2096-5876;
e-mail: mmaysigov@emcmos.ru

Королёв Андрей Вадимович, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0002-8769-9963;
eLibrary SPIN: 6980-6109;
e-mail: korolev.andrey.prof@gmail.com

AUTHORS' INFO

*** Daria A. Bolshakova;**

address: 7, Orlovsky pereulok, 129110, Moscow, Russia;
ORCID: 0009-0003-3332-9267;
eLibrary SPIN: 9584-9980;
e-mail: dasha.bolsh@gmail.com

Andrey A. Kardanov, MD, Dr. Sci. (Med.);

ORCID: 0000-0003-2866-2295;
eLibrary SPIN: 5134-8123;
e-mail: akardanov@emcmos.ru

Musa N. Maysigov, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: 0000-0002-2096-5876;
e-mail: mmaysigov@emcmos.ru

Andrey V. Korolev, MD, Dr. Sci. (Med.);

ORCID: 0000-0002-8769-9963;
eLibrary SPIN: 6980-6109;
e-mail: korolev.andrey.prof@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author