



## Возможности магнитно-резонансной томографии в визуализации полового нерва в норме и при патологии

В.А. Белобородов<sup>1</sup>, И.А. Степанов<sup>1,2\*</sup>, Г.А. Рылло<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный медицинский университет, г. Иркутск, Россия;

<sup>2</sup>Харлампиевская клиника, г. Иркутск, Россия;

<sup>3</sup>Ленинградский областной онкологический диспансер им. Л.Д. Романа, г. Санкт-Петербург, Россия

### Реферат

До недавнего времени визуализация периферических нервов была ограничена с технической точки зрения, так как отсутствовал установленный «золотой стандарт» протокола исследования с целью качественной визуализации нервных стволов в норме и при патологии. Благодаря техническим достижениям в области магнитно-резонансной томографии и с появлением специализированной магнитно-резонансной нейрографии с высоким разрешением стало возможным визуализировать периферические нервы различных диаметров. Поиск литературных источников в базах данных Pubmed, Medline, EMBASE, Cochrane Library и eLibrary продемонстрировал наличие нескольких исследований, посвящённых изучению возможностей магнитно-резонансной томографии в визуализации полового нерва в норме и при патологии. Необходимо подчеркнуть, что результаты указанных исследований согласуются и во многом дополняют друг друга. Обобщение имеющихся данных о возможностях магнитно-резонансной нейрографии полового нерва и явилось побудительным моментом к написанию настоящего литературного обзора. Магнитно-резонансная нейрография представляет собой тканеспецифический метод визуализации, оптимизированный для оценки состояния периферических нервов, включая изменения морфологии их пучкового строения, сигнала, а также диаметра и длины нервных стволов, что может быть обусловлено как анатомическими особенностями, так и патологическими процессами. Трёхмерная (3D) визуализация имеет решающее значение для изучения топографии периферических нервов, выявления областей их компрессии или травматического повреждения, а также для предоперационного планирования. Магнитно-резонансная томография в определённых режимах и срезах позволяет чётко визуализировать половой нерв практически на всём его протяжении, определить характер его ветвления и особенности топографо-анатомического расположения. Анатометрические характеристики полового нерва и его патологические изменения, полученные с помощью магнитно-резонансной нейрографии, могут быть использованы в повседневной клинической практике урологов, акушеров-гинекологов и нейрохирургов для планирования оперативных вмешательств. **Ключевые слова:** половой нерв, невралгия полового нерва, магнитно-резонансная томография, магнитно-резонансная нейрография, полость малого таза.

**Для цитирования:** Белобородов В.А., Степанов И.А., Рылло Г.А. Возможности магнитно-резонансной томографии в визуализации полового нерва в норме и при патологии. *Казанский мед. ж.* 2024;105(1):110–117. DOI: 10.17816/KMJ508781.

REVIEW | DOI: 10.17816/KMJ508781

### Possibilities of magnetic resonance imaging in visualizing the pudendal nerve in normal and pathological conditions

V.A. Beloborodov<sup>1</sup>, I.A. Stepanov<sup>1,2\*</sup>, G.A. Ryllo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk State Medical University, Irkutsk, Russia;

<sup>2</sup>Kharlampiev Clinic, Irkutsk, Russia;

<sup>3</sup>Leningrad Regional Oncology Dispensary named after L.D. Roman, St. Petersburg, Russia

\*Для переписки: edmoilers@mail.ru

Поступила 10.07.2023; принята в печать 07.08.2023;  
опубликована 03.11.2023.

© Эко-Вектор, 2023. CC BY-NC-SA 4.0.

\*For correspondence: edmoilers@mail.ru

Submitted 10.07.2023; accepted 07.08.2023;  
published 03.11.2023.

© Eco-Vector, 2023. CC BY-NC-SA 4.0.

## Abstract

Until recently, imaging of peripheral nerves was limited from a technical point of view, as there was no established “gold standard” study protocol for the purpose of qualitative visualization of nerve trunks in normal and pathological conditions. With technical advances in magnetic resonance imaging and the advent of specialized high-resolution magnetic resonance neurography, it has become possible to visualize peripheral nerves of varying diameters. A literature search in the Pubmed, Medline, EMBASE, Cochrane Library, and eLibrary databases demonstrated the presence of several studies examining the capabilities of magnetic resonance imaging in visualizing the pudendal nerve in normal and pathological conditions. It must be emphasized that the results of these studies are consistent and largely complement each other. A generalization of the available data on the capabilities of magnetic resonance neurography of the pudendal nerve was the impetus for writing this literature review. Magnetic resonance neurography is a tissue-specific imaging method optimized for assessing the condition of peripheral nerves, including changes in the morphology of their bundle structure, signal, the diameter and length of nerve trunks, which can be caused by both anatomical features and pathological processes. Three-dimensional (3D) imaging is critical for studying the topography of peripheral nerves, identifying areas of compression or traumatic injury, and for preoperative planning. Magnetic resonance imaging in certain modes and sections allows to clearly visualize the pudendal nerve along almost its entire length, determine the nature of its branching and the features of its topographic and anatomical location. The anatomical characteristics of the pudendal nerve and its pathological changes obtained using magnetic resonance neurography can be used in everyday clinical practice by urologists, obstetricians-gynecologists and neurosurgeons for planning surgical interventions.

**Keywords:** pudendal nerve, pudendal nerve neuropathy, magnetic resonance imaging, magnetic resonance neurography, pelvic cavity.

**For citation:** Beloborodov VA, Stepanov IA, Ryllo GA. Possibilities of magnetic resonance imaging in visualizing the pudendal nerve in normal and pathological conditions. *Kazan Medical Journal*. 2024;105(1):110–117. DOI: 10.17816/KMJ508781.

## Актуальность

Невропатия полового нерва представляет собой самостоятельную нозологическую форму, характеризующуюся наличием хронического невропатического болевого синдрома в области иннервации полового нерва, нередко в сочетании с ощущением инородного тела в области прямой кишки/ануса, расстройствами мочеиспускания и половой дисфункцией [1]. По данным Международной ассоциации пудендальной невропатии (International Pudendal Neuropathy Association) заболеваемость невропатией полового нерва составляет 1 на 100 000 населения в год [2]. В исследовании J.P. Spinoso и соавт. [3] показано, что частота невропатии полового нерва в популяции составляет не более 1% с преимущественным преобладанием заболевания у женщин. В работе С.Б. Извозчикова установлено, что распространённость невропатии полового нерва составляет 1,4% [4].

Важно отметить, что среди всех заболеваний периферической нервной системы невропатии полового нерва необходимо обозначить как самое драматичное и крайне сложное в диагностическом плане патологическое состояние [5]. Сложность диагностики невропатии полового нерва состоит в том, что медицинские специалисты (в первую очередь, урологи, гинекологи), регулярно сталкивающиеся с хронической тазовой болью, направляют пациентов указанной группы к неврологам и нейрохирургам, а последние в большинстве случаев устанавливают такой клинической диагноз крайне редко [6].

До недавнего времени визуализация периферических нервов была ограничена техническими возможностями вследствие отсутствия существующего в настоящее время «золотого стандарта» протокола исследования для качественной визуализации нервных стволов в норме и при патологии. Благодаря техническим достижениям в области магнитно-резонансной томографии (МРТ) и с появлением специализированной магнитно-резонансной (МР) нейрографии с высоким разрешением стало возможным визуализировать периферические нервы различных диаметров [7, 8].

Поиск литературных источников в базах данных Pubmed, Medline, EMBASE, Cochrane Library и eLibrary продемонстрировал наличие нескольких исследований, посвящённых изучению возможностей МРТ в визуализации полового нерва в норме и при патологии. Результаты указанных исследований согласуются и во многом дополняют друг друга. Обобщение существующих данных о возможностях МР-нейрографии полового нерва стало побудительным моментом к написанию настоящего литературного обзора.

Поиск литературных источников в базах данных Pubmed, Medline, EMBASE, Cochrane Library и eLibrary продемонстрировал наличие нескольких исследований, посвящённых изучению возможностей МРТ в визуализации полового нерва в норме и при патологии. Результаты указанных исследований согласуются и во многом дополняют друг друга. Обобщение существующих данных о возможностях МР-нейрографии полового нерва стало побудительным моментом к написанию настоящего литературного обзора.

### **Технические особенности магнитно-резонансной нейрографии**

МР-нейрография представляет собой тканеспецифический метод визуализации, оптимизированный для оценки состояния периферических нервов, включая изменения морфологии их пучкового строения, сигнала, а также диаметра и длины нервных стволов, что может быть обусловлено как анатомическими особенностями, так и патологическими процессами [9].

Трёхмерная (3D) визуализация имеет решающее значение для изучения топографии периферических нервов, выявления областей их компрессии или травматического повреждения, а также для предоперационного планирования. Результаты МР-нейрографии могут быть определены на T2-взвешенных и диффузионно-взвешенных изображениях. Диффузионно-взвешенная МРТ и в большей степени диффузионно-тензорная МРТ позволяют оценить функциональную активность нервных стволов. Однако особые требования к программному обеспечению данного режима МРТ и крайне низкая степень отношения сигнал/шум (SNR — от англ. Signal-Noise Ratio) для периферических нервов малого диаметра значительно ограничивают применение диффузионно-взвешенной и диффузионно-тензорной МРТ в рутинной клинической практике [10, 11].

*Индукция магнитного поля аппарата для МРТ.* Индукция магнитного поля — важный фактор, влияющий как на качество изображения, так и на скорость его получения. Общеизвестно, что эффективность МР-нейрографии значительно выше при 3 Тл по сравнению с 1,5 Тл [12]. Именно появление нейровизуализации с высоким значением индукции магнитного поля и её широкой доступностью способствовало развитию современной МР-нейрографии и её активному внедрению повседневную клиническую практику [13].

По сравнению с 1,5 Тл аппараты МРТ 3 Тл обеспечивают высокую степень отношения SNR (практически в 2 раза выше), что отчасти связано с улучшенной конструкцией катушки, лучшими характеристиками градиента и более широкой полосой пропускания. Эти преимущества выражаются в более высоком пространственном разрешении и более тонких срезах с улучшенной видимостью жидкости, а также в высоком значении показателя SNR, значительно улучшающем анатомическую характеристику нервных стволов и визуализацию их повреждений [14].

Повышенная контрастность жидкости и более однородные методы жироподавления обе-

спечивают лучшее отображение фасцикулярного строения нервов. Для аппаратов МРТ с высокой индукцией магнитного поля также характерна меньшая степень неоднородности магнитного поля [15]. Другие преимущества аппаратов МРТ с высокой индукцией магнитного поля — применение нескольких импульсов радиочастотного насыщения, необходимых для адекватного подавления сигналов от кровеносных сосудов, а также использование параллельных изображений для сокращения времени сбора данных.

Следует отметить, что получение качественных T2-взвешенных изображений с функцией 3D-визуализации на аппаратах МРТ с низкой магнитной индукцией не представляется возможным по причине временных и аппаратных ограничений. Нередко приходится использовать последовательности 3D-градиентного эха, а получаемые таким образом изображения часто оказываются неизотропными с низким отношением SNR, значительным контрастированием мягких тканей и наличием множественных артефактов. С другой стороны, высококачественные изотропные 3D-изображения и T2-взвешенные изображения с лёгкостью могут быть получены при использовании аппаратов МРТ с индукцией магнитного поля 3 Тл и, безусловно, служат дополнением к двухмерным (2D) изображениям [16, 17].

### **Режимы магнитно-резонансных исследований**

*T1-взвешенные изображения* с высоким разрешением отлично подходят для визуализации нормальной анатомии периферических нервов и окружающих их структур. Тонкие срезы (максимальная толщина среза 4 мм) необходимы для адекватного определения анатомических деталей и морфологии пучков. Крупные периферические нервы представляют собой линейные T1-гипоинтенсивные структуры с чётким анатомическим распределением фасцикул [18, 19].

Для нервных стволов больших диаметров характерны специфические отличия от близлежащих кровеносных сосудов, где артерии выглядят как пустоты, а вены представляются гиперинтенсивными на T1-взвешенных изображениях. Важно подчеркнуть, что изучение фасцикулярной анатомии нервов возможно только при крупном диаметре последних и при получении МР-томограмм высокого разрешения.

Важный МРТ-семиотический признак периферических нервов — наличие T1-гиперинтенсивной периневральной жировой

клетчатки с характерным рисунком по типу «рельсов трамвая» в виде чередования T1-гиперинтенсивного и T1-гипоинтенсивного сигналов. Инфильтрация периневральной жировой клетчатки и мягких тканей лучше всего визуализируется на T1-взвешенных изображениях. Также T1-взвешенные изображения наиболее чувствительны к определению жировой мышечной дистрофии после нарушения иннервации [20, 21].

*T2-взвешенные изображения.* Патологические изменения в нервных стволах лучше всего видны на T2-взвешенных изображениях. Кроме того, многие объёмные образования и другие патологические изменения, которые обычно приводят к компрессии нервов (кисты, опухоли оболочек периферических нервов, злокачественные опухоли периферических нервов) наиболее чётко определяются именно на T2-взвешенных изображениях [22, 23].

При стандартном быстром спиновом эхо (без подавления жира) на T2-взвешенном изображении трудно отличить аномально повышенный T2-сигнал от периневрального и интраниеврального жира, поэтому T2-взвешенные изображения с подавлением жира служат оптимальной последовательностью для выявления поражений нервных стволов. Этот режим также наиболее чувствителен к ранним изменениям сигнала от мышц при нарушении их иннервации [24]. Тем не менее, у T2-взвешенных изображений с подавлением жира есть некоторые ограничения:

- большее количество артефактов от гиперинтенсивных сосудистых структур;
- частичное усреднение объёма нервного волокна.

Нередко сосудистые структуры, сопровождающие нервы, кажутся гиперинтенсивными, и их можно легко спутать с поражением нерва или периневральным отёком [25].

Специализированная МР-нейрография основана на усиленном применении T2-взвешенных изображений с более тонкими срезами, чтобы увеличить контрастность изменения сигнала изображений и достичь более высокого пространственного разрешения. Максимальная контрастность такого рода T2-взвешенных изображений в нервах достигается тремя способами [26]:

- использованием последовательностей с длительным временем эхо-сигнала (от 90 до 130 мс);
- применением радиочастотных импульсов насыщения для подавления сигнала от близлежащих сосудов;

– использованием частотно-селективной, или адиабатической инверсионно-восстановительной, визуализации типа подавления жира.

Усиленные T2-взвешенные изображения лучше всего получать при высоком значении индукции магнитного поля, что ещё раз подчёркивает важнейшее значение технологических достижений в развитии нейровизуализации с высокой разрешающей способностью. Таким образом, применение усиленных T2-взвешенных изображений сводит к минимуму возможность получения ложных сигналов от сосудистых структур и жировой ткани и позволяет получить минимальные изменения сигнала от нервов. Новые методы, используемые в 3D-визуализации, а именно стационарная свободная прецессия и методы диффузии, оптимально подавляют сосудистый сигнал на T2-взвешенных изображениях, особенно при визуализации конечностей [27, 28].

*3D-визуализация.* Изотропная 3D-визуализация служит важным компонентом современной МР-нейрографии. Нервы часто имеют косой ход и практически не видны на стандартных аксиальных, коронарных и сагиттальных срезах. Трёхмерные многоплоскостные реконструированные изображения, криволинейно-плоскостные реконструированные изображения и изображения с проекцией максимальной интенсивности в значительной степени облегчают визуализацию периферических нервов, что особенно важно для предоперационного планирования [29, 30].

Меньшее количество артефактов и частичное усреднение объёма на 3D-изображениях позволяют более точно визуализировать потенциальные патологических процессы в нервах. Более того, изменение калибра и/или сигнала в нервных стволах, которые могут быть незаметными или связаны с усреднением объёма на аксиальном срезе, лучше визуализируются в аксиальной плоскости, что позволяет точнее оценить степень аномалии. Некоторые поражения нервов, такие как плексиформные нейрофибромы, особенно хорошо видны при 3D-визуализации [31].

Компрессионные поражения нервов грыжами межпозвонковых дисков, объёмными образованиями и анатомическими фиброзно-костными туннелями также более точно определяются на 3D-изображениях. Очаговый перерыв периферического нерва крайне сложно определить на аксиальном срезе, поэтому 3D-реконструкция может иметь решающее значение в диагностике и определении дальнейшей тактики хирургического лечения. Измене-

ния объёма мышечной ткани и анатомии мышц также лучше оценивать с помощью 3D-изображений [32].

### **Недостатки магнитно-резонансной нейрографии**

Феномен «магического угла», подробно описанный при визуализации сухожилий, также присутствует и при визуализации периферических нервов. Этот феномен приводит к ложному усилению сигнала, когда нерв лежит в плоскости  $55^\circ$  относительно основного вектора магнитного поля. В отличие от сухожилий этот эффект может сохраняться в нервах даже при высоком времени эхо-сигнала (более 66 мс), следовательно, для нивелирования данного явления необходимо использовать более продолжительное время эхо-сигнала.

Врачу-рентгенологу необходимо быть особенно внимательным к указанному явлению, когда он упоминает в своём протоколе исследования об усилении внутриневрального T2-сигнала в МР-нейрографических изображениях. Тем не менее, в недавних исследованиях сделан вывод о том, что феномен «магического угла» бывает редким источником ложноположительной интерпретации при выполнении МР-нейрографии, особенно в отношении периферических нервов, которые проходят параллельно основному вектору магнитного поля [33].

Несмотря на использование подавляющих радиочастотных импульсов, гиперинтенсивный сосудистый сигнал часто присутствует при МР-нейрографии, особенно при высоких значениях времени эхо-сигнала. Это значительно затрудняет описание врачом-рентгенологом нервных стволов малого диаметра при их расположении вблизи кровеносных сосудов, что может быть причиной неверной интерпретации полученных изображений.

Неоднородное подавление жира — ещё один значительный недостаток МР-нейрографии, особенно в области малого таза, учитывая большое поле зрения и большое количество пациентов с металлоконструкциями в нижнепоясничном отделе позвоночника и/или в области тазобедренных суставов, которые ещё больше ограничивают действие локального магнитного поля, тем самым ухудшая степень подавление жира [34].

Артефакты повышенной чувствительности и химического сдвига, также наблюдаемые при исследовании с магнитной индукцией 3 Тл, можно нейтрализовать путём следующих приёмов: уменьшения значения времени эхо-сигнала, выполнения параллельной визу-

ализации и увеличения полосы пропускания. С другой стороны, аппараты МРТ 1,5 Тл могут быть более эффективным при оценке нервов в непосредственной близости от металлоконструкций. Точные значения пределов скорости поглощения достигаются значительно быстрее при 3 Тл по сравнению с 1,5 Тл, так как при первом варианте выделяется повышенная энергия для радиочастотного возбуждения. Однако это различие обычно уравнивается более быстрым получением изображения с более коротким временем исследования и обычно не создаёт трудностей в клинической практике.

Другие потенциальные недостатки 3D-визуализации включают более длительное время визуализации, а также сроки для создания и интерпретации многоплоскостных переформатированных изображений [35].

### **Возможности магнитно-резонансной нейрографии полового нерва в норме**

МР-нейрография позволяет чётко визуализировать половой нерв в различных его отделах: при его формировании из корешков пояснично-крестцового сплетения, на уровне седалищной ости, в канале Алькока, а также в области мужских и женских наружных половых органов. На МР-томограммах мужского малого таза возможна визуализация правой геморроидальной ветви. Однако прочие мелкие ветви полового нерва не могут быть чётко визуализированы [36, 37].

Необходимо подчеркнуть, что половой нерв лучше всего виден на аксиальных срезах T1- и T2-взвешенных изображений в режиме предварительного спектрального насыщения с инверсией-восстановлением (SPAIR — от англ. SPectral Attenuated Inversion Recovery), что позволяет также оценить его фасцикулярное строение. На косой сагиттальной реконструкции 3D-диффузионно-взвешенного изображения можно идентифицировать проксимальный сегмент нерва вдоль его оси. Ствол полового нерва также можно визуализировать на коронарном срезе T1-взвешенных изображений в месте его входа в канал Алькока. T2-взвешенные изображения в режиме 3D-турбо спин-эхо последовательности не подходят для визуализации мелких ветвей полового нерва [38].

### **Возможности магнитно-резонансной нейрографии полового нерва при патологии**

Аксиальные срезы на T1- и T2-взвешенных изображениях SPAIR необходимо анализировать параллельно с целью определения патологических изменений полового нерва. Первичная оценка полученных МР-томограмм

должна быть основана на выявлении признаков травмы или компрессии нервного ствола, рубцово-спаечных изменений по ходу нерва, утолщения крестцово-бугорных и/или крестцово-остистых связок, утолщения запирающей фасции, деформации и/или перелома лобковой и крестцовой костей, а также наличия объёмных образований в полости малого таза [39].

Следующим этапом описания МР-томограмм полового нерва выступает анализ интенсивности сигнала от нерва и его ветвей. Так, корешки пояснично-крестцового сплетения, участвующие в формировании полового нерва, характеризуются ярким гиперинтенсивным сигналом на T2-взвешенных изображениях. После формирования основного ствола нерва и отделения от него ветвей первого порядка, интенсивность сигнала снижается практически вдвое [8, 40].

Важно подчеркнуть, что половые нервы лучше всего визуализируются на аксиальных срезах вдоль дистального края грушевидной мышцы, входящей в межсвязочное пространство на уровне седалищной ости. Половой нерв в данной анатомической области имеет среднюю интенсивность сигнала на T2-взвешенных изображениях с чётко определяемым фасцикулярным строением, что позволяет врачу-рентгенологу с лёгкостью отличить нерв от кровеносных сосудов [41].

В исследовании A.G. Filler [42] показано, что наличие гиперинтенсивного сигнала от полового нерва или ректальной его ветви вдоль медиальной границы внутренней запирающей мышцы или проксимальнее её входа в канал Алькока — косвенный МРТ-признак невропатии полового нерва. По мнению авторов, когда нерв входит в канал Алькока под запирающей фасцией, минимальная гиперинтенсивность на T2-взвешенных изображениях не является редкостью, что может быть связано с феноменом «магического угла» [42]. Можно обнаружить, что нижняя ректальная ветвь имеет косой ход в плоскости седалищно-прямокишечной клетчатки в сопровождении одноимённых вен, что значительно затрудняет визуализацию этой ветви полового нерва. В таком случае для более чёткого определения нижней ректальной ветви рекомендуют применять диффузионно-тензорную МРТ.

Нижняя ректальная ветвь отходит до или после входа полового нерва в канал Алькока. В этом канале могут определяться один или несколько нервных стволов. Дистальные промежностные ветви трудно идентифицировать из-за их небольшого диаметра и частого нали-

чия варикозного расширения вен таза. Сигнал средней интенсивности от дорсального нерва клитора или полового члена определяется непосредственно под лобковым симфизом с обеих сторон в области соответствующих наружных половых органов. 3D-визуализация весьма полезна для оценки состояния крупных нервов в области пояснично-крестцового сплетения [42].

Как правило, при диагностике патологических состояний полового нерва необходимо изучить состояние крестцовых нервов и прилегающую грушевидную мышцу. Повышенный сигнал или размер крестцовых нервов отмечают при пояснично-крестцовой плексопатии (обычно двусторонней), травме (перелом кости, травма в анамнезе, растяжение соседних мышц) или периневральном злокачественном новообразовании (узловое утолщение и усиление контрастности) [43].

Учитывая тот факт, что одним из наиболее распространённых видов патологии половых нервов выступает тракционная невропатия, основными МРТ-характеристиками бывают повышенный сигнал от нерва и его значительное утолщение за счёт формирующегося отёка периневральной клетчатки. Такая ситуация нередко имеет симметричный характер.

Диффузионно-тензорная МРТ позволяет обнаружить изменения нервного ствола, поскольку способна подавлять сигнал от окружающего жира, мышц и сосудистых структур. Дистальные промежностные и/или геморроидальные ветви в условиях рубцово-спаечных процессов малого таза становятся видны на T2-взвешенных изображениях и диффузионно-взвешенной МР-томограмме. Дорсальный нерв полового члена или клитора может иметь гиперинтенсивный сигнал по причине воспалительного процесса в области наружных половых органов или их травмы [44].

Безусловно, данные, полученные на МРТ-изображениях, следует тщательно соотносить с клинической картиной, что позволяет определить наиболее рациональную лечебную тактику в отношении конкретного пациента.

### **Заключение**

Таким образом, МРТ в определённых режимах (T1-, T2-взвешенные изображения с 3D-визуализацией) и срезах позволяет чётко визуализировать половой нерв практически на всём его протяжении, определить характер его ветвления и особенности топографо-анатомического расположения. Анатометрические характеристики полового нерва и признаки его пато-

логических изменений, полученные с помощью МР-нейрографии, можно использовать в повседневной клинической практике урологов, акушеров-гинекологов и нейрохирургов для планирования оперативных вмешательств.

**Участие авторов.** В.А.Б. — руководство работой, редактирование; И.А.С. — обзор литературы, анализ результатов; Г.А.Р. — обзор литературы.

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов по представленной статье.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Khoder W, Hale D. Pudendal neuralgia. *Obstet Gynecol Clin North Am.* 2014;41(3):443–452. DOI: 10.1016/j.ogc.2014.04.002.
2. Hibner M, Desai N, Robertson LJ, Nour M. Pudendal neuralgia. *J Minim Invasive Gynecol.* 2010;17(2):148–153. DOI: 10.1016/j.jmig.2009.11.003.
3. Spinosa JP, de Bisschop E, Laurençon J, Kuhn G, Dubuisson JB, Riederer BM. Sacral staged reflexes to localize the pudendal compression: an anatomical validation of the concept. *Rev Med Suisse.* 2006;2(84):2416–2421. (In French.) PMID: 17121249.
4. Извозчиков С.Б. Тазовая боль в практике врача-невролога. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2018;118(4):94–99. [Izvozchikov SB. Pelvic pain in neurological practice. *Zhurnal neurologii i psichiatrii imeni SS Korsakova.* 2018;118(4):94–99. (In Russ.)] DOI: 10.17116/jnevro20181184194-99.
5. Извозчиков С.Б. Механизмы формирования и диагностика туннельных пудендопатий. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2019;119(11):98–102. [Izvozchikov SB. Mechanisms of formation and diagnosis of tunnel pudendal neuropathy. *Zhurnal neurologii i psichiatrii imeni SS Korsakova.* 2019;119(11):98–102. (In Russ.)] DOI: 10.17116/jnevro20191191198.
6. Pérez-López FR, Hita-Contreras F. Management of pudendal neuralgia. *Climacteric.* 2014;17(6):654–656. DOI: 10.3109/13697137.2014.912263.
7. Chhabra A, McKenna CA, Wadhwa V, Thawait GK, Carrino JA, Lees GP, Dellon AL. 3T magnetic resonance neurography of pudendal nerve with cadaveric dissection correlation. *World J Radiol.* 2016;8(7):700–706. DOI: 10.4329/wjr.v8.i7.700.
8. Huang GQ, Gong T, Wang SS, Xia QH, Lin LJ, Wang GB. Pudendal nerve lesions in young men with erectile dysfunction: imaging with 3T magnetic resonance neurography. *Asian J Androl.* 2023;25(5):650–652. DOI: 10.4103/aja202293.
9. Maravilla KR, Bowen BC. Imaging of the peripheral nervous system: Evaluation of peripheral neuropathy and plexopathy. *AJNR Am J Neuroradiol.* 1998;19(6):1011–1023. PMID: 9672005.
10. Khalilzadeh O, Fayad LM, Ahlwat S. 3D MR neurography. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2021;25(3):409–417. DOI: 10.1055/s-0041-1730909.
11. Mukherji SK. MR neurography. *Neuroimaging Clin N Am.* 2014;24(1):15. DOI: 10.1016/j.nic.2013.09.003.
12. Chhabra A. MR neurography. *Neuroimaging Clin N Am.* 2014;24(1):17. DOI: 10.1016/j.nic.2013.09.002.
13. Sneag DB, Zochowski KC, Tan ET. MR neurography of peripheral nerve injury in the presence of orthopedic hardware: Technical considerations. *Radiology.* 2021;300(2):246–259. DOI: 10.1148/radiol.2021204039.
14. Debs P, Fayad LM, Ahlwat S. MR neurography of peripheral nerve tumors and tumor-mimics. *Semin Roentgenol.* 2022;57(3):232–240. DOI: 10.1053/j.ro.2022.01.008.
15. Martín-Noguerol T, Montesinos P, Hassankhani A, Bencardino DA, Barousse R, Luna A. Technical update on MR neurography. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2022;26(2):93–104. DOI: 10.1055/s-0042-1742753.
16. Preisner F, Behnisch R, Schwehr V, Godel T, Schwarz D, Foesleitner O, Bäumer P, Heiland S, Bendszus M, Kronlage M. Quantitative MR-neurography at 3.0 T: Inter-scanner reproducibility. *Front Neurosci.* 2022;16:817316. DOI: 10.3389/fnins.2022.817316.
17. Mazal AT, Faramarzalain A, Samet JD, Gill K, Cheng J, Chhabra A. MR neurography of the brachial plexus in adult and pediatric age groups: evolution, recent advances, and future directions. *Expert Rev Med Devices.* 2020;17(2):111–122. DOI: 10.1080/17434440.2020.1719830.
18. Chhabra A, Andreisek G, Soldatos T, Wang KC, Flammang AJ, Belzberg AJ, Carrino JA. MR neurography: Past, present, and future. *AJR Am J Roentgenol.* 2011;197(3):583–591. DOI: 10.2214/AJR.10.6012.
19. Chhabra A, Zhao L, Carrino JA, Trueblood E, Koceski S, Shteriev F, Lenkinski L, Sinclair CD, Andreisek G. MR neurography: Advances. *Radiol Res Pract.* 2013;2013:809568. DOI: 10.1155/2013/809568.
20. Madhuranthakam AJ, Lenkinski RE. Technical advancements in MR neurography. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2015;19(2):86–93. DOI: 10.1055/s-0035-1547370.
21. Aagaard BD, Maravilla KR, Kliot M. MR neurography. MR imaging of peripheral nerves. *Magn Reson Imaging Clin N Am.* 1998;6(1):179–194. DOI: 10.1016/S1064-9689(21)00452-9.
22. Chhabra A, Carrino J. Current MR neurography techniques and whole-body MR neurography. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2015;19(2):79–85. DOI: 10.1055/s-0035-1545074.
23. Chhabra A, Rozen S, Scott K. Three-dimensional MR neurography of the lumbosacral plexus. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2015;19(2):149–159. DOI: 10.1055/s-0035-1545077.
24. Chhabra A. Peripheral MR neurography: Approach to interpretation. *Neuroimaging Clin N Am.* 2014;24(1):79–89. DOI: 10.1016/j.nic.2013.03.033.
25. Muniz Neto FJ, Kihara Filho EN, Miranda FC, Rosemberg LA, Santos DCB, Taneja AK. Demystifying MR Neurography of the lumbosacral plexus: From protocols to pathologies. *Biomed Res Int.* 2018;2018:9608947. DOI: 10.1155/2018/9608947.
26. Martín Noguerol T, Barousse R, Gómez Cabrera M, Socolovsky M, Bencardino JT, Luna A. Functional MR neurography in evaluation of peripheral nerve trauma and postsurgical assessment. *Radiographics.* 2019;39(2):427–446. DOI: 10.1148/rg.2019180112.
27. Sneag DB, Kiprovski K. MR neurography of bilateral Parsonage–Turner syndrome. *Radiology.* 2021;300(3):515. DOI: 10.1148/radiol.2021204688.
28. Chhabra A, Williams EH, Wang KC, Dellon AL, Carrino JA. MR neurography of neuromas related to nerve injury and entrapment with surgical correlation. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2010;31(8):1363–1368. DOI: 10.3174/ajnr.A2002.
29. Ishikawa T, Asakura K, Mizutani Y, Ueda A, Murate KI, Hikichi C, Shima S, Kizawa M, Komori M, Murayama K, Toyama H, Ito S, Mutoh T. MR neurography for

the evaluation of CIDP. *Muscle Nerve*. 2017;55(4):483–489. DOI: 10.1002/mus.25368.

30. Upadhyaya V, Upadhyaya DN, Bansal R, Pandey T, Pandey AK. MR neurography in Parsonage–Turner syndrome. *Indian J Radiol Imaging*. 2019;29(3):264–270. DOI: 10.4103/ijri.IJRI\_269\_19.

31. Grant GA, Goodkin R, Maravilla KR, Kliot M. MR neurography: Diagnostic utility in the surgical treatment of peripheral nerve disorders. *Neuroimaging Clin N Am*. 2004;14(1):115–133. DOI: 10.1016/j.nic.2004.02.003.

32. Soldatos T, Andreisek G, Thawait GK, Guggenberger R, Williams EH, Carrino JA, Chhabra A. High-resolution 3-T MR neurography of the lumbosacral plexus. *Radiographics*. 2013;33(4):967–987. DOI: 10.1148/rg.334115761.

33. Thawait SK, Chaudhry V, Thawait GK, Wang KC, Belzberg A, Carrino JA, Chhabra A. High-resolution MR neurography of diffuse peripheral nerve lesions. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2011;32(8):1365–1372. DOI: 10.3174/ajnr.A2257.

34. Faridian-Aragh N, Chalian M, Soldatos T, Thawait GK, Deune EG, Belzberg AJ, Carrino JA, Chhabra A. High-resolution 3T MR neurography of radial neuropathy. *J Neuroradiol*. 2011;38(5):265–274. DOI: 10.1016/j.neurad.2011.05.006.

35. Ly J, Scott K, Xi Y, Ashikyan O, Chhabra A. Role of 3 Tesla MR neurography and CT-guided injections for pudendal neuralgia: Analysis of pain response. *Pain Physician*. 2019;22(4):E333–E344. DOI: 10.36076/ppj/2019.22.E333.

36. Fritz J, Chhabra A, Wang KC, Carrino JA. Magnetic resonance neurography-guided nerve blocks for the diagnosis and treatment of chronic pelvic pain syndrome. *Neuroimaging Clin N Am*. 2014;24(1):211–234. DOI: 10.1016/j.nic.2013.03.028.

37. Fritz J, Fritz B, Dellon AL. Sacrotuberous ligament healing following surgical division during transgluteal pu-

dendal nerve decompression: A 3-Tesla MR neurography study. *PLoS One*. 2016;11(11):e0165239. DOI: 10.1371/journal.pone.0165239.

38. Cejas CP, Bordegaray S, Stefanoff NI, Rollán C, Escobar IT, Consigliere Rodríguez P. Magnetic resonance neurography for the identification of pudendal neuralgia. *Medicina (B Aires)*. 2017;77(3):227–232. (In Spanish.) PMID: 28643681.

39. Bonham LW, Herati AS, McCarthy EF, Dellon AL, Fritz J. Diagnostic and interventional magnetic resonance neurography diagnosis of brachytherapy seed-mediated pudendal nerve injury: A case report. *Transl Androl Urol*. 2020;9(3):1442–1447. DOI: 10.21037/tau.2020.03.22.

40. Lemos N, Melo HJF, Sermer C, Fernandes G, Ribeiro A, Nascimento G, Luo ZC, Girão MJBC, Goldman SM. Lumbosacral plexus MR tractography: A novel diagnostic tool for extraspinal sciatica and pudendal neuralgia? *Magn Reson Imaging*. 2021;83:107–113. DOI: 10.1016/j.mri.2021.08.003.

41. De Paepe KN, Higgins DM, Ball I, Morgan VA, Barton DP, de Souza NM. Visualizing the autonomic and somatic innervation of the female pelvis with 3D MR neurography: A feasibility study. *Acta Radiol*. 2020;61(12):1668–1676. DOI: 10.1177/0284185120909337.

42. Filler AG. Diagnosis and treatment of pudendal nerve entrapment syndrome subtypes: Imaging, injections, and minimal access surgery. *Neurosurg Focus*. 2009;26(2):E9. DOI: 10.3171/FOC.2009.26.2.E9.

43. Koh E. Imaging of peripheral nerve causes of chronic buttock pain and sciatica. *Clin Radiol*. 2021;76(8):626.e1–626.e11. DOI: 10.1016/j.crad.2021.03.005.

44. Furtmüller GJ, McKenna CA, Ebmer J, Dellon AL. Pudendal nerve 3-dimensional illustration gives insight into surgical approaches. *Ann Plast Surg*. 2014;73(6):670–678. DOI: 10.1097/SAP.0000000000000169.

## Сведения об авторах

**Белобородов Владимир Анатольевич**, докт. мед. наук, проф., зав. каф., каф. общей хирургии, ФГБОУ ВО Иркутский ГМУ Минздрава России, г. Иркутск, Россия; BVA555@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3299-1924>

**Степанов Иван Андреевич**, асс., каф. общей хирургии, ФГБОУ ВО Иркутский ГМУ Минздрава России, г. Иркутск, Россия; edmoilers@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9039-9147>

**Рылло Георгий Андреевич**, врач-онкоуролог, Ленинградский областной онкологический диспансер им. Л.Д. Романа, г. Санкт-Петербург, Россия; Gosharyllo@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9657-0125>

## Author details

**Vladimir A. Beloborodov**, M.D., D. Sci. (Med.), Prof., Head of Depart., Depart. of General Surgery, Irkutsk State Medical University, Irkutsk, Russia; BVA555@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3299-1924>

**Ivan A. Stepanov**, M.D., Ass., Depart. of General Surgery, Irkutsk State Medical University, Irkutsk, Russia; edmoilers@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9039-9147>

**Georgiy A. Ryllo**, M.D., Oncourologist, Leningrad Regional Oncology Dispensary named after L.D. Roman, St. Petersburg, Russia; Gosharyllo@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9657-0125>