

ЛЕКЦИЯ

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2023

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПАРАВЕРТЕБРАЛЬНЫХ ПОЯСНИЧНЫХ МЫШЦ У ПАЦИЕНТОВ С ПОЯСНИЧНО-КРЕСТЦОВОЙ РАДИКУЛОПАТИЕЙ И НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ СКЕЛЕТНО-МЫШЕЧНОЙ БОЛЮ

Е.Г. Селиверстова¹, В.Б. Войтенков^{2,3}, В.Н. Команцев⁴, М.В. Синкин^{1,5}, А.А. Гринь^{1,5}

¹ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», Москва, Россия

²ФГБУ Детский научно-клинический центр инфекционных болезней Федерального медико-биологического агентства России, Санкт-Петербург, Россия

³Академия постдипломного образования ФГБУ Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

⁴ФГБУ ДПО Санкт-Петербургский институт усовершенствования врачей-экспертов Минтруда России, Санкт-Петербург, Россия

⁵ФГБУ «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова», Москва, Россия

Резюме

В диагностическом процессе при радикулопатиях, помимо неврологического осмотра, который является определяющим для тактики ведения, и при необходимости выбора уровня и характера нейрохирургического вмешательства важную роль играют инструментальные методы диагностики морфологического и функционального состояния паравертебральных мышц. Паравертебральные мышцы — симметричные мышцы спины, окружающие позвоночный столб и участвующие в его движениях, образуют медиальные и латеральные продольные мышечные тракты. Для инструментальной диагностики состояния паравертебральных мышц используют методы магнитно-резонансной томографии (МРТ), а также игольчатую электромиографию и ультразвуковое исследование (УЗИ). Представляются данные литературы по изучению паравертебральных мышц при радикулопатиях и неспецифических болях в спине. «Золотым стандартом» диагностики остается МРТ, однако эта методика отличается высокой стоимостью, невозможно ее проведение при наличии магнитных объектов в организме пациента. Кроме того, существует ряд психологических состояний, которые резко ограничивают проведение МРТ. В свою очередь, игольчатая электромиография и УЗИ паравертебральных мышц не позволяют напрямую судить о важном для прогнозирования состояния параметре — степени замещения мышечной ткани жировой. Наиболее информативным остается комплексный подход, при котором инструментальные методы целесообразно применять в сочетании друг с другом. Показанием к такому обследованию могут явиться трудные случаи течения заболевания, анатомические аномалии расположения спинномозговых корешков, стертая клиническая картина. Также данное обследование обосновано с точки зрения оценки прогностической ценности различных инструментальных методов для исходов заболевания и хирургического лечения.

Ключевые слова: радикулопатия; нейрофизиология; электромиография; ультразвуковое исследование; паравертебральные мышцы.

Для цитирования: Селиверстова Е.Г., Войтенков В.Б., Команцев В.Н., Синкин М.В., Гринь А.А. Инструментальные методы оценки состояния паравертебральных поясничных мышц у пациентов с пояснично-крестцовой радикулопатией и неспецифической скелетно-мышечной болью. *Российский неврологический журнал*. 2023;28(2):73–82. DOI 10.30629/2658-7947-2023-28-2-73-82

Для корреспонденции: Селиверстова Екатерина Геннадьевна, e-mail: e.seliverstova.md@gmail.com

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено без финансовой поддержки.

Информация об авторах

Селиверстова Е.Г., <https://orcid.org/0000-0001-9652-1457>; e-mail: e.seliverstova.md@gmail.com

Войтенков В.Б., <https://orcid.org/0000-0003-0448-7402>

Команцев В.Н., <https://orcid.org/0000-0003-2646-9790>

Синкин М.В., <https://orcid.org/0000-0001-5026-0060>

Гринь А.А., <https://orcid.org/0000-0003-3515-8329>

INSTRUMENTAL METHODS FOR ASSESSING THE STATE OF THE PARAVERTEBRAL LUMBAR MUSCLES IN PATIENTS WITH LUMBOSACRAL RADICULOPATHY AND NON-SPECIFIC MUSCLE-SKELETAL PAIN

E.G. Seliverstova¹, V.B. Voitenkov^{2,3}, V.N. Komantsev⁴, M.V. Sinkin^{1,5}, A.A. Grin^{1,5}

¹N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medical Care, Moscow, Russia

²Pediatric Research and Clinical Center for Infectious Diseases, Saint Petersburg, Russia

³Academy of Postgraduate Education of Federal Scientific Research Center, Moscow, Russia

⁴St. Petersburg Institute of Advanced Training of Doctors-Experts, Saint Petersburg, Russia

⁵A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia

Abstract

Neurological examination plays the main role in diagnostic and management of radiculopathies. In addition, the instrumental methods could be used for diagnosis of the morphological and functional state of paraspinal muscles. Paraspinal muscles are symmetrical back muscles surrounding the spinal column and supporting it. Magnetic resonance imaging (MRI) as well as needle electromyography (EMG) and ultrasound are used for instrumental diagnosis of paraspinal muscles conditions. We provide the review on the current scope of studies on radiculopathies and non-specific back pain. MRI is the principle standard for radiculopathy diagnosis, but other methods such as muscle ultrasound and needle electromyography are also used here. MRI is characterized by a high cost, and it is impossible to carry it out if there are magnetic objects present in the patient's body. EMG and ultrasound both are not sufficient enough to study the level of the fatty replacement of the paraspinal muscle, while this parameter is quite significant for measuring a radiculopathy outcome. Thus, we consider it rational to recommend using these methods in combination. Indications for the combined examination may be such complex cases as anatomical anomalies of spinal roots, atypical disease pattern.

Key words: radiculopathy; neurophysiology; needle electromyography; ultrasound imaging; paraspinal muscles.

For citation: Seliverstova E.G., Voitenkov V.B., Komantsev V.N., Sinkin M.V., Grin A.A. Instrumental methods for assessing the state of the paravertebral lumbar muscles in patients with lumbosacral radiculopathy and non-specific muscle-skeletal pain. *Russian Neurological Journal (Rossijskij Nevrologicheskij Zhurnal)*. 2023;28(2):73–82. (In Russian). DOI 10.30629/2658-7947-2023-28-2-73-82

For correspondence: Ekaterina G. Seliverstova, e-mail: e.seliverstova.md@gmail.com

Conflict of interest. The authors declare there is no conflict of interest.

Acknowledgements. The study had no sponsorship.

Information about authors

Seliverstova E.G., <https://orcid.org/0000-0001-9652-1457>; e-mail: e.seliverstova.md@gmail.com

Voitenkov V.B., <https://orcid.org/0000-0003-0448-7402>

Komantsev V.N., <https://orcid.org/0000-0003-2646-9790>

Sinkin M.V., <https://orcid.org/0000-0001-5026-0060>

Grin A.A., <https://orcid.org/0000-0003-3515-8329>

Received 04.07.2022
Accepted 08.12.2022

Сокращения: МРТ — магнитно-резонансная томография; ПВМ — паравертебральные мышцы; ПДЕ — потенциал двигательной единицы; ПКР — пояснично-крестцовая радикулопатия; УЗИ — ультразвуковое исследование; ЭМГ — электромиография.

Введение. В клинической практике большое значение имеет патология, ассоциированная с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями позвоночника [1, 2]. Первое клиническое описание компрессионного поражения пояснично-крестцовых корешков было сделано W. Mixter, J. Barr еще в 1934 г. [3]. Термином «пояснично-крестцовая радикулопатия» (ПКР) (код по МКБ-10 M54.1) обозначают неврологический синдром, возникающий в результате компрессии спинномозгового корешка, который может проявляться болью, чувствительными и двигательными нарушениями в соответствующих дерматоме и миотоме, снижением или утратой одного из глубоких рефлексов — коленного, ахиллова или рефлекса медиального подколенного сухожилия [4, 5].

Распространенность дискогенной ПКР среди пациентов с болью в нижней части спины колеблется от 1,6% до 13,4%, она преобладает у пациентов

в возрасте 45–64 лет, чаще встречается у мужчин [6]. Клинические проявления варьируют и зависят от уровня и степени компрессии корешка [7–9].

Многораздельные мышцы являются важными стабилизаторами поясничного отдела позвоночника. Установлено, что их дисфункция играет определенную роль в развитии рецидивирующих болей в пояснице. [10]. Исследование степени замещения паравертебральных мышц (ПВМ) жировой тканью имеет прогностическое значение при хирургическом лечении спондилолистеза [11]. Сходные данные получены при оценке прогностического значения данного параметра при операциях по поводу заднего поясничного межтелового спондилодеза [12].

Анатомия, иннервация, физиология паравертебральных мышц

Паравертебральные мышцы — симметричные мышцы спины, окружающие позвоночный столб, образуют медиальные и латеральные продольные мышечные тракты [13]. Латеральный тракт представлен мышцей, выпрямляющей позвоночник (*m. erector spinae*), она заполняет на всем протяжении спины углубление по бокам от остистых отростков. Медиальный тракт представлен поперечно-остистой мышцей (*m. transversospinalis*), пучки которой перекрываются через разное количество позвонков

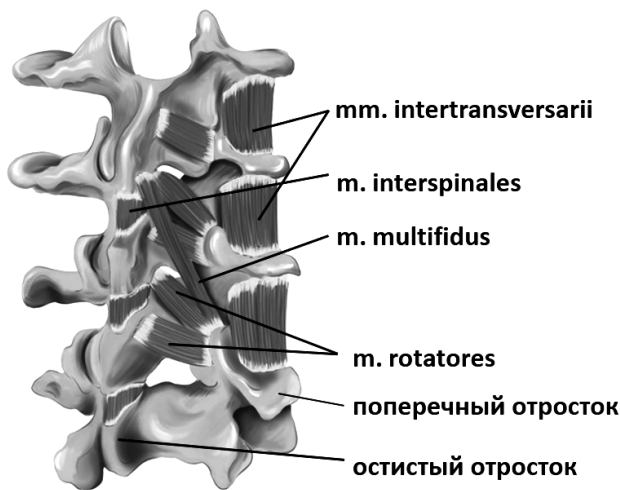


Рис. 1. Расположение паравертебральных мышц и точки их прикрепления к костным структурам позвоночного столба (рисунок авторов)

Fig. 1. Location of paravertebral muscles and their attachment points to bony structures of the spinal column (authors' figure)

и формируют полуостистую мышцу (*m. semispinalis*) через 5–7 позвонков; многораздельные мышцы (*mm. multifidi*) через 2–4 позвонка и мышцы-вращатели через 1–2 позвонка (рис. 1) [14].

M. erector spinae получает иннервацию от задних ветвей спинномозговых нервов, сохраняющих свое сегментарное строение, которые идут в дорсокаудальном направлении между поперечными отростками позвонков, в дальнейшем разделяясь на 2–3 конечные ветви, называемые латеральной, медиальной и промежуточной, а на уровне L5 имеются только две последние. *Mm. multifidi* прикрепляются медиальнее к остистым отросткам, заполняя борозды по их боковой поверхности, и получают иннервацию от медиальных ветвей дорсальных корешков спинномозговых нервов. Медиальные ветви моно-сегментарно иннервируют пучки *mm. multifidi*, которые прикрепляются к поперечному отростку того же

сегментарного уровня, что и спинномозговой нерв. Например, мышечные пучки *mm. multifidi*, прикрепленные к остистому отростку позвонка L5, иннервируются исключительно медиальной порцией задней ветви спинномозгового нерва L5 (рис. 2) [15].

Механизмы развития дегенеративных изменений в паравертебральных мышцах

В течение последних лет все большее внимание уделяется инструментальной оценке снижения мышечной массы в параспинальной мускулатуре и ее связи с болью в спине. Важно установить взаимосвязь между изменением морфологии паравертебральных мышц, вызванной радикулопатией или возникающей на фоне хронической неспецифической скелетно-мышечной боли.

Жировая инфильтрация в ПВМ может быть обнаружена как у пациентов с острой или хронической неспецифической болью в спине, так и у здоровых людей и, следовательно, не является специфической для боли особенностью. В исследовании показано, что высокая степень жировой инфильтрации в ПВМ коррелировала с уменьшением диапазона движений в позвоночнике, в частности поясничного сгибания. Продолжительность боли, возраст, пол или индекс массы тела (ИМТ) не влияли на эту связь [16]. В этом исследовании не удалось определить, является ли уменьшенный диапазон сгибательных движений в поясничном отделе позвоночника причиной или результатом жировой инфильтрации ПВМ. До сих пор остается недоказанным, является ли жировая инфильтрация ПВМ прогностическим фактором и нуждаются ли пациенты с неспецифической болью в спине в специальных стратегиях лечения.

В некоторых исследованиях жировая дегенерация ПВМ рассматривается как естественный процесс старения организма [17]. Малоподвижный образ жизни также провоцирует развитие атрофии мышечной ткани от бездействия. Мышцы подвергаются адаптивному ремоделированию как в ответ на отсутствие физической активности, так и на процесс старения [18].

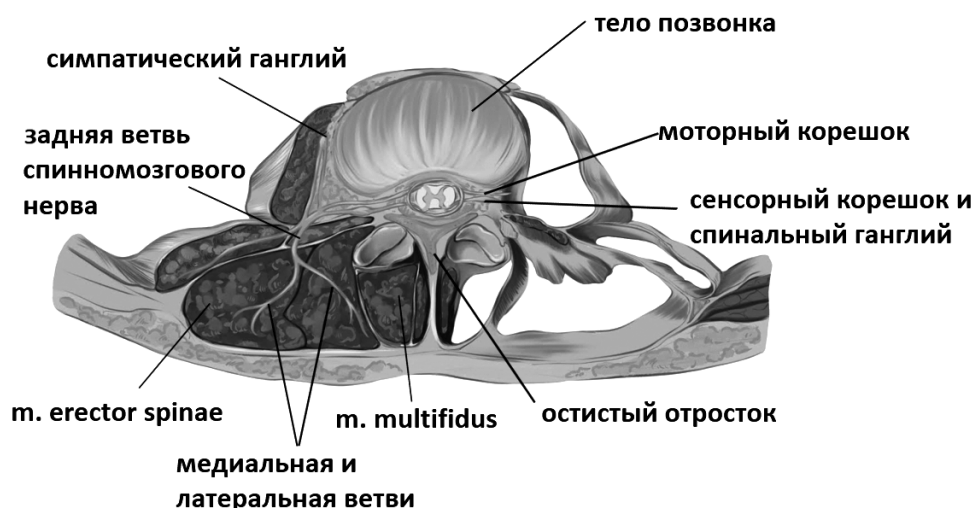


Рис. 2. Схема иннервации паравертебральных мышц (рисунок авторов)

Fig. 2. Scheme of paravertebral muscle innervation (authors' figure)

Предполагают два механизма развития атрофии ПВМ: неиспользование и денервация вследствие компрессии спинномозгового корешка грыжей межпозвонкового диска; во втором случае атрофический процесс носит, как правило, локальный характер. В экспериментальном исследовании на домашних свиньях P. Hodges с соавт. оценивали влияние повреждения диска L3–L4 на *mm. multifidi*. [19]. По данным УЗИ площадь поперечного сечения *mm. multifidi* на стороне поражения была снижена на 17% уже на третьи сутки повреждения и не изменялась на 6-й день. Не было разницы в площади поперечного сечения между показателями до травмы и после травмы на других уровнях или на контралатеральной стороне. Гистологические и химические исследования демонстрировали региональную перестройку в мышцах в виде увеличенных адипоцитов, скопления миофибрилл и снижения концентрации воды и лактата.

Следует различать морфологические и функциональные методы исследования ПВМ. К первым относят магнитно-резонансную томографию (МРТ) и ультразвуковое исследование мышц (УЗИ), ко вторым — электромиографию (ЭМГ). При визуализации можно обнаружить три основных признака мышечной дегенерации: уменьшение размера мышцы, снижение плотности мышцы, увеличение объема жировой ткани. Плотность параспинальных мышц выше у мужчин, людей молодого возраста, а также у худых людей [20].

Методы изучения морфологии мышц

Магнитно-резонансная томография. МРТ мышц позволяет выявить дегенеративные изменения, жировую инфильтрацию, наличие отека и воспалительных изменений скелетной мускулатуры [21]. Стандартный протокол МРТ исследования пациента с подозрением на компрессионную радикулопатию не включает оценку структуры паравертебральных мышц [22]. Глубокие мышцы спины являются важными стабилизаторами поясничного отдела позвоночника. Было установлено, что их дисфункция играет определенную роль в развитии рецидивирующих болей в пояснице [23]. Площадь поперечного сечения ПВМ у пациентов с односторонним

хроническим болевым синдромом в спине меньше на симптомной стороне [24]. При этом при гистологическом исследовании выявляют изменения в многораздельных мышцах на уровне пораженного сегмента позвоночника, что обусловлено компрессией иннервирующего данный сегмент спинномозгового нерва. Гистопатологические данные свидетельствуют об относительно низкой способности к регенерации многораздельных мышц у пациентов с длительным радикулярным синдромом. Такие пациенты имеют повышенный риск нейрогенных мышечных изменений, в связи с чем целесообразно рассматривать возможность более раннего хирургического вмешательства, несмотря на множество наблюдений о самопроизвольном уменьшении размеров грыжи межпозвонкового диска [25].

Жировую инфильтрацию можно рассматривать как позднюю стадию мышечной дегенерации, степень которой может быть оценена при помощи МРТ. Выделяют три степени замещения паравертебральных мышц жировой тканью: 0–10% — grade 0, 10–50% — grade 1, более 50% — grade 2 (рис. 3) [26].

Определенная с помощью МРТ распространенность и выраженность жировой дегенерации не коррелирует с возрастом [27]. Жировая инфильтрация чаще ассоциирована с тем сегментом позвоночника, где имеется большая выраженность дегенеративно-дистрофических изменений [20].

Ультразвуковые методы исследования. В настоящее время УЗИ является доступным, достоверным методом визуализации поверхностных структур тела, который используется для оценки структуры, функции и активности мышц. УЗИ паравертебральных мышц позволяет оценить их общий размер, толщину в состоянии покоя и при напряжении [28].

Ультразвуковое изображение здоровой мышцы при продольном сканировании представляет гомогенные гипэхогенные пучки, разделенные множеством параллельно идущих гиперэхогенных соединительнотканых прослоек. Мышечная ткань всегда имеет меньшую эхогенность, чем жировая и соединительная [29].

Патологические изменения в мышце могут проявляться повышением эхогенности, нарушением

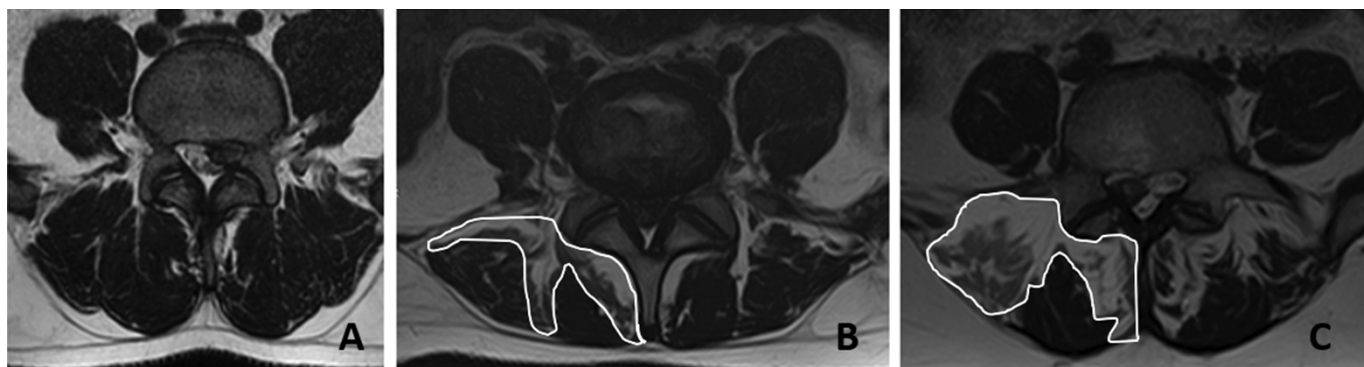


Рис. 3. Визуальная оценка жировой инфильтрации параспинальных мышц на уровне L5 (МРТ, режим T2, аксиальные срезы): A — grade 0; B — grade 1; C — grade 2

Fig. 3. Grading of fat in the paraspinal muscles (circled in red) on magnetic resonance imaging (MRI), on axial T2-weighted images at L5/S1: A — grade 0; B — grade 1; C — grade 2

упорядоченности расположения внутримышечных соединительнотканых прослоек, утолщением мышечного пласта за счет отека (миозит), уменьшением объема мышцы (миофиброз). Большое количество гиперэхогенных гипертрофированных пучков мышечных волокон с высокой акустической плотностью мышц может свидетельствовать о наличии выраженного фиброзного изменения мышечной ткани [30].

У пациентов с радикулопатией при проведении УЗИ паравerteбральных мышц было показано, что развивается селективная атрофия многораздельных мышц, в то время как мышца, выпрямляющая позвоночник, компенсаторно гипертрофируется [31, 32]. Сходные данные получены при оценке мышц на разных стадиях процесса грыжеобразования межпозвонковых дисков [33]. К достоинствам методики относят возможность многократного проведения [34–36].

УЗИ применяется как методика объективного контроля эффективности различных методов восстановительного лечения, оценивается, в частности, размер и толщина паравerteбральных мышц до и после терапии [37–39]. При сравнении пациентов с хронической неспецифической болью в спине толщину мышц оценивают в двух положениях — стоя и сидя [40, 41]. Также для этого в части случаев прибегают к эластографии мышц [42, 43].

Методы изучения функционального состояния паравerteбральных мышц

Электромиография. При несоответствии клинической картины радикулопатии данным нейровизуализации, при невозможности выполнить МРТ применяют нейрофизиологические методы, основанные на оценке биоэлектрической активности нейронов и мышц [44].

Метод позволяет зарегистрировать электрографические признаки радикулопатии в миотоме интереса. Из-за перекрывающейся иннервации, электрографические признаки денервационно-реиннервационного процесса необходимо выявить минимум в двух мышцах конечностей, иннервируемых соответствующим передним корешком, но разными периферическими нервами. При этом параметры потенциалов двигательных единиц (ПДЕ) мышц, иннервируемых выше- и нижележащими нервными корешками, должны быть нормальными [45]. Необходимо также различать данные, полученные с помощью разных методик. Известно, что при проведении игольчатой ЭМГ спонтанную активность регистрируют со 2-й недели заболевания, ее представленность максимальна в 1-й месяц, а затем регистрируют единичные потенциалы фасцикуляций, положительные острые волны и/или потенциалы фибрилляций. Нейрогенная перестройка ПДЕ, являющаяся отражением процесса реиннервации, начинается со 2-й недели заболевания и продолжается весь период сохраняющейся компрессии спинномозгового корешка [46].

Первое упоминание об исследовании параспинальных мышц в диагностике радикулопатии

относится к 1966 г., когда J.G. Gough и G.H. Коекке, основываясь на особенностях иннервации паравerteбральных мышц, посчитали возможным их использование для определения уровня повреждения моторного корешка [47].

Исследованию коаксиальным игольчатым электродом доступны мышцы латерального и медиального трактов. Сегментарная иннервация позволяет точно локализовать уровень поражения с помощью игольчатой ЭМГ. Картирование параспинальных мышц в настоящее время используется преимущественно в качестве дополнения к ЭМГ мышц конечностей, при этом, по данным литературы, чувствительность метода в диагностике радикулопатии возрастает до 100% [48].

В литературе имеются противоречивые данные относительно нормативных параметров ПДЕ, регистрируемых в параспинальных мышцах [49–55]. В частности, M. Tomasella и соавт. в качестве референсных значений нормальных параметров ПДЕ параспинальных мышц на уровне L5 принимают значения амплитуды 323–1377 мВ и длительности 5,7–14,8 мс [54]. Значения нормативных показателей ПДЕ у A. Posa и соавт. значительно отличались: амплитуда 393 ± 174 мВ, длительность $10,4 \pm 2,4$ мс [53].

На рис. 4 представлена типичная картина нейрогенной перестройки (ПДЕ) в параспинальных мышцах у пациента с хроническим течением радикулопатии L5.

В этой связи целесообразным является уточнение нормативных данных игольчатой ЭМГ паравerteбральных мышц, в особенности у пациентов старших возрастных групп.

T.D. Jeppesen и соавт. обнаружили, что, в отличие от мышц конечностей, в параспинальной мускулатуре не было возрастных различий в амплитудах или длительности ПДЕ, в том числе у пациентов с признаками жировой инфильтрации по данным МРТ [56]. Интересно также, что наблюдался градиент амплитуд и длительностей ПДЕ от шейного отдела к каудальному, что, вероятно, указывает на различные размеры двигательной единицы в шейном отделе по сравнению с грудным и поясничным [56].

Наряду с ЭМГ мышц конечностей электродиагностическое исследование параспинальных мышц имеет уровень доказательности II, уровень рекомендации B [57].

Различные корешковые аномалии могут затруднять как клиническую, так и инструментальную оценку радикулопатии. Например, отсутствие корешка спинномозгового нерва в предполагаемом месте его выхода или наличие двух корешков, выходящих вместе из одной дляamina может вызвать неверную интерпретацию результатов ЭМГ и привести к ошибочному выбору уровня для нейрохирургического вмешательства. Уровень вмешательства определяют по результатам комплексного клиничко-инструментального обследования. Существует три основных типа аномального расположения спинномозговых корешков (рис. 5) [15].

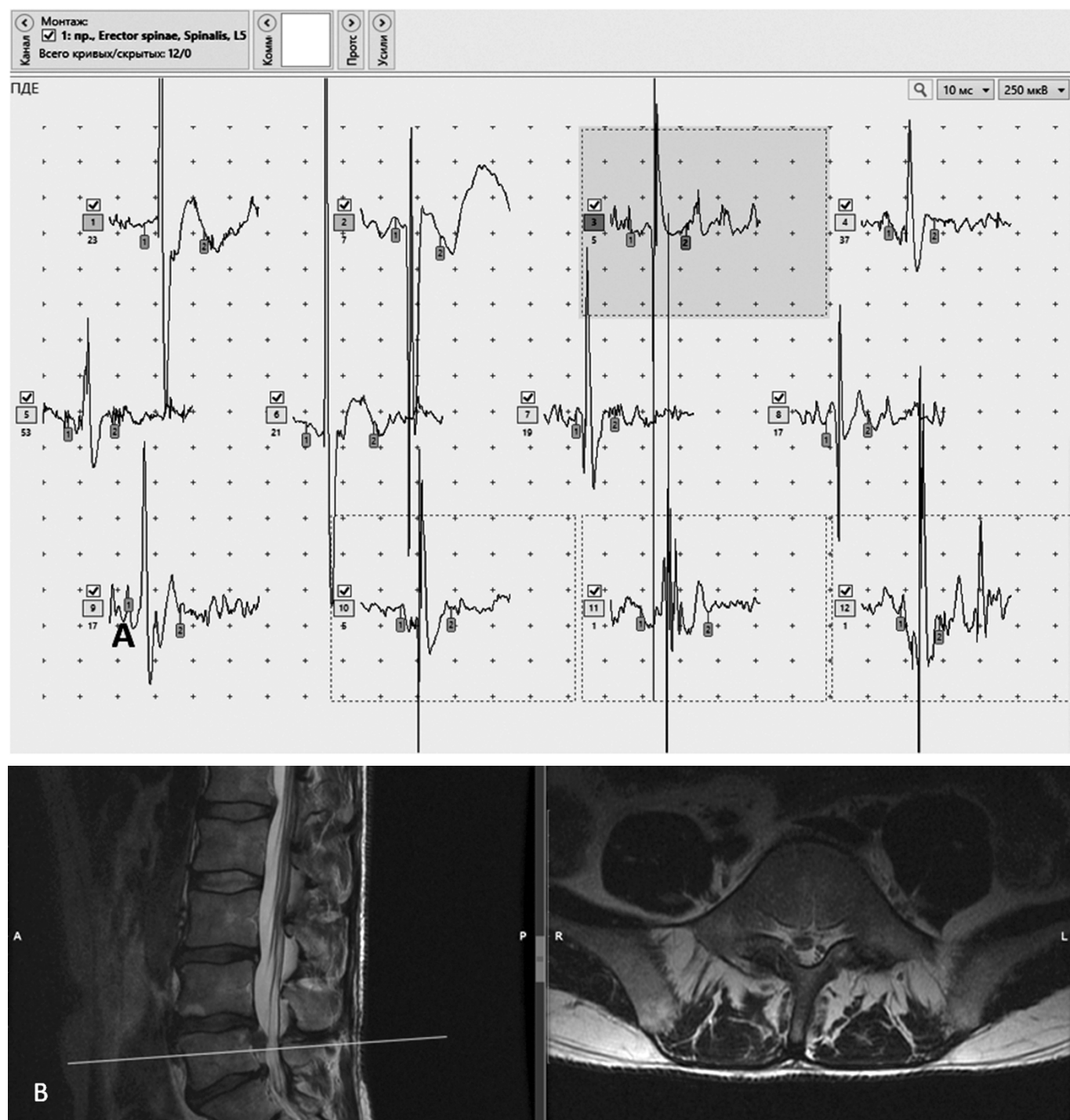


Рис. 4. Соотношение данных функционального (ЭМГ) и морфологического (МРТ) инструментальных исследований: А — потенциалы двигательных единиц паравerteбральных мышц пациента Ж., 48 лет, с длительным болевым синдромом, обусловленным радикулопатией корешка L5 слева; В — МРТ того же пациента (сагиттальный и аксиальный срезы) демонстрирует замещение паравerteбральных мышц жировой тканью

Fig. 4. Correlation of functional (EMG) and morphological (MRI) instrumental findings: A — MUAPs of paravertebral muscles in 48 years old patient with long-lasting pain syndrome caused by L5 radiculopathy; B — MRI of the same patient (sagittal and axial images) demonstrates replacement of paravertebral muscles with fatty tissue

Экспериментальные методы диагностики
Функциональная МРТ мышц (фМРТ) — это инновационный метод оценки мышечной активности. Она основана на изменении интенсивности сигнала в режиме T2 при увеличении активности исследуемой мышцы и имеет ряд преимуществ перед электромиографией, поскольку фМРТ обладает хорошим

пространственным разрешением, позволяя изучать активность метаболизма отдельной мышцы [58]. Более того, существует разница в физиологическом представлении: ЭМГ отслеживает электрическую активность активированных мышц, тогда как фМРТ основана на регистрации изменений метаболической активности.

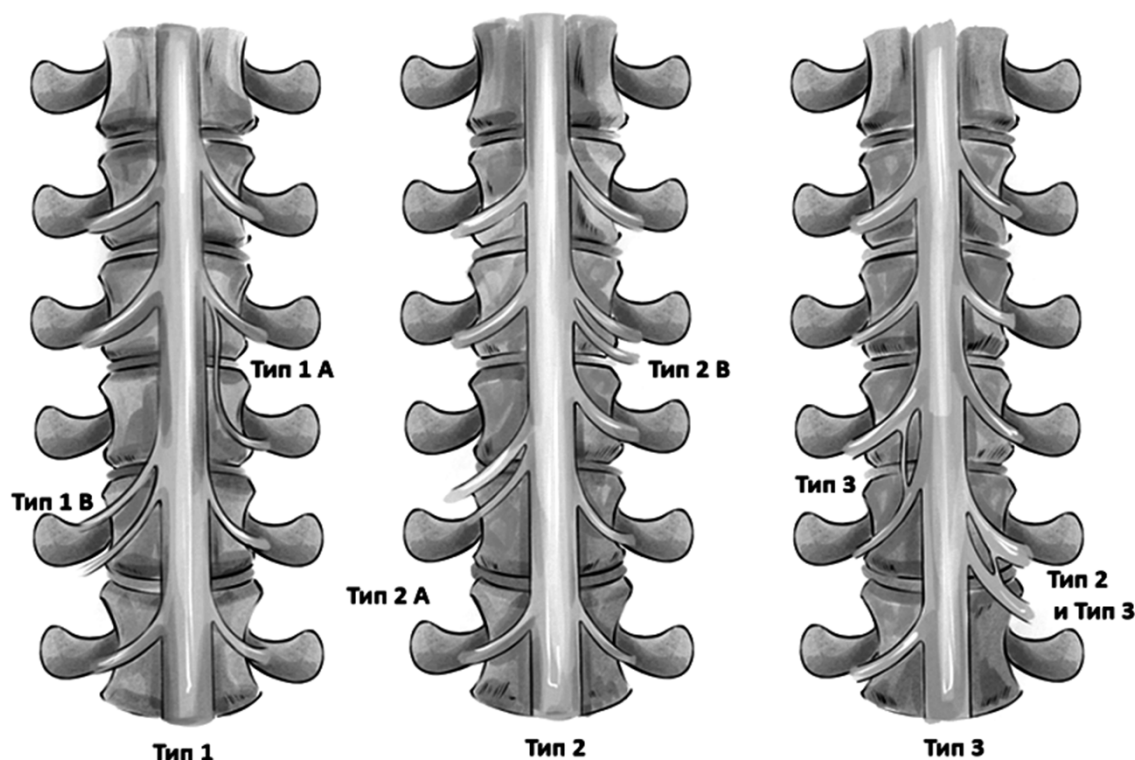


Рис. 5. Типы экстрадуральных аномалий поясничных корешков (по Neidreand MacNab classification 1983 г., рис. авторов). Аномалии 1-го типа (абберантный ход корешка): тип 1А — две пары нервных корешков могут возникать из одной дуральной манжетки, тип 2В — дуральная манжетка образуется из нижерасположенного дурального мешка. Аномалии 2-го типа (вариабельное количество корешков в форамине): тип 2А — спинномозговой нерв форамину не занимает, и в этом случае в выше- или нижележащей форамине находятся два корешка. Аномалии 3-го типа — экстрадуральные анастомозы между корешками, при которых пучок нервных волокон выходит из одной дуральной манжетки и входит в соседнюю. Возможны комбинации аномалий 2-го и 3-го типов

Fig. 5. Types of extradural lumbar root anomalies (according to NeidreandMacNab classification 1983, authors' figure). Type 1 anomalies (abbreviated radicular course): type 1A — two pairs of nerve roots can arise from one dural cuff, type 2B — dural cuff arises from an underlying dural sac. Type 2 anomalies (variable number of roots in the foramina): type 2A — the spinal nerve does not occupy the foramina, in which case there are two roots in the superior or inferior foramina. Type 3 anomalies are extradural anastomoses between the roots, in which a bundle of nerve fibers exits one dural cuff and enters the adjacent one. Combinations of type 2 and 3 anomalies are possible

Заключение. Для инструментального исследования ПВМ помимо МРТ используют два метода — игольчатую ЭМГ и УЗИ. Основным недостатком ультразвукового метода является то, что мышечная и жировая ткань обладают схожей эхогенностью и плохо дифференцируются на серошкальном изображении при УЗИ [59]. Помимо этого, свою роль играют небольшие размеры ПВМ. Таким образом, о степени развития жирового замещения мышцы по данным УЗИ можно строить только косвенные предположения, исходящие из общего размера мышцы [37, 60]. В ряде работ ЭМГ и УЗИ паравerteбральных мышц проводятся в сочетании [61]. При таком подходе возможна комплексная оценка мышцы с изучением как ее анатомических особенностей, так и функционального состояния.

Показаниями к комплексному обследованию могут явиться трудные случаи течения заболевания, стертая клиническая картина вследствие анатомических аномалий поясничных спинномозговых корешков, наличия сопутствующей патологии костно-суставной системы, особенно у пациентов

пожилого возраста. Также данное обследование обосновано с точки зрения оценки прогноза исхода оперативного лечения. Единой базы нормативных данных по параметрам инструментальных исследований ПВМ не существует, что делает актуальным ее создание.

Финансирование работы. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Благодарности. Отсутствуют.

Вклад авторов в публикацию

Селиверстова Е.Г. — сбор и анализ полученных данных, написание текста рукописи, оформление рукописи.

Войтенков В.Б. — концепция статьи, сбор и анализ полученных данных, написание текста рукописи, проверка интеллектуального содержания статьи.

Команцев В.Н. — концепция статьи, сбор и анализ полученных данных, написание текста рукописи, проверка интеллектуального содержания статьи.

Синкин М.В. — концепция статьи, анализ полученных данных, проверка интеллектуального содержания статьи.

Гринь А.А. — концепция статьи, анализ полученных данных, проверка интеллектуального содержания статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено без финансовой поддержки.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Mansfield M, Smith T, Spahr N, Thacker M. Cervical spine radiculopathy epidemiology: A systematic review. *Musculoskeletal Care*. 2020;18(4):555–567. <https://doi.org/10.1002/msc.1498>
2. Hartvigsen J, Hancock MJ, Kongsted A, Louw Q, Ferreira ML, Genevay S et al. Lancet Low Back Pain Series Working Group. What low back pain is and why we need to pay attention. *Lancet*. 2018;391(10137):2356–2367. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30480-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30480-X)
3. Mixter W, Barr J. Rupture of the intervertebral disc with involvement of the spinal canal. *N Engl J Med*. 1934;211:210–214. <https://doi.org/10.1056/NEJM193408022110506>
4. Гуша АО, Коновалов НА, Древалъ ОН, Гринь АА, Джинджихадзе РС, Арестов СО и др. Клинические рекомендации по диагностике и лечению грыж межпозвонковых дисков пояснично-крестцового отдела. М.; 2014. [Gushha AO, Konovalov NA, Dreval' ON, Grin' AA, Dzhindzhihadze RS, Arestov SO et al. Clinical guidelines for the diagnosis and treatment of lumbosacral intervertebral disc hernias Moscow; 2014. (In Russ.)]. URL: http://www.mst.ru/information/manual/lumbar_disc_herniation.pdf
5. Esene IN, Meher A, Elzoghby MA, El-Bahy K, Kotb A, El-Hakim A. Diagnostic performance of the medial hamstring reflex in L5 radiculopathy. *Surg Neurol Int*. 2012;3:104. <https://doi.org/10.4103/2152-7806.100862>
6. Парфенов ВА, Яхно НН, Давыдов ОС, Кукушкин МЛ, Чурюканов МВ, Головачева ВА и др. Дискогенная пояснично-крестцовая радикулопатия. Рекомендации Российского общества по изучению боли (РОИБ). *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2020;12(4):15–24. [Parfenov VA, Yakhno NN, Davydov OS, Kukushkin ML, Churyukanov MV, Golovacheva VA et al. Discogenic lumbosacral radiculopathy. Recommendations of the Russian Association for the Study of Pain (RSSP). *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2020;12(4):15–24. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2020-4-15-24>
7. Крылов ВВ, Гринь АА. О грыжах межпозвонкового диска и результатах лечения больных с этой патологией. *Consilium Medicum*. 2009;11(9):5–10. [Krylov VV, Grin' AA. Intervertebral disc herniation and the results of treatment of patients with this pathology. *Consilium Medicum*. 2009;11(9):5–10. (In Russ.)].
8. Сергеев АВ, Екушева ЕВ. Боль в спине у детей и подростков. *Русский медицинский журнал*. 2019;9:28–32. [Sergeev AV, Yekusheva YeV. Back pain in children and adolescents. *RMJ*. 2019;9:28–32. (In Russ.)].
9. Бородулина ИВ. Распространенность депрессивных симптомов у пациентов с хронической пояснично-крестцовой радикулопатией. *Доктор.Ру*. 2021;20(9):26–30. [Borodulina I.V. Prevalence of depressive symptoms in patients with chronic lumbosacral radiculopathy. *Doktor.Ru*. 2021;20(9):26–30. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2021-20-9-26-30>
10. Freeman MD, Woodham MA, Woodham AW. The role of the lumbar multifidus in chronic low back pain: a review. *PM R*. 2010;2(2):142–146. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2009.11.006>
11. Chen J, Li J, Sheng B, Li L, Wu S. Does preoperative morphology of multifidus influence the surgical outcomes of stand-alone lateral lumbar interbody fusion for lumbar spondylolisthesis? *Clin Neurol Neurosurg*. 2022;215:107177. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2022.107177>
12. Han G, Zou D, Liu Z, Zhang B, Gong C, Zhou S et al. Fat infiltration of paraspinal muscles as an independent risk for bone nonunion after posterior lumbar interbody fusion. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):232. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05178-z>
13. Привес МГ, Лысенков НК, Бушковиц ВИ. Анатомия человека. 12-е изд., перераб. и доп. Санкт-Петербург: СПбМАПО; 2006. [Prives MG, Lysenkov NK, Bushkovich VI. Human Anatomy. Saint-Petersburg; 2006. (In Russ.)].
14. Манулик ВА, Синельникова НВ. Краткая анатомия мышц туловища и конечностей: учебно-методическое пособие. Минск: БГМУ; 2017. [Manulik VA, Sinel'nikova NV. Brief anatomy of the muscles of the trunk and extremities: a teaching handbook. Minsk: BGMU; 2017. (In Russ.)].
15. Frank LW, Schneider DS, Zuhosky JP. Anatomic and technical considerations in needle electromyography of the lumbar spine. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 1998;9(4):795–814. PMID: 9894096
16. Hildebrandt M, Fankhauser G, Meichtry A, Luomajoki H. Correlation between lumbar dysfunction and fat infiltration in lumbar multifidus muscles in patients with low back pain. *BMC Musculoskelet Disord*. 2017;18(1):12. <https://doi.org/10.1186/s12891-016-1376-1>
17. Dallaway A, Hattersley J, Diokno M, Tallis J, Renshaw D, Wilson A et al. Age-related degeneration of lumbar muscle morphology in healthy younger versus older men. *Aging Male*. 2020;23(5):1583–1597. <https://doi.org/10.1080/13685538.2021.1878130>
18. Gibbons D, McDonnell JM, Ahern DP, Cunniffe G, Kenny RA, Romero-Ortuño R, Butler JS. The relationship between radiological paraspinal lumbar measures and clinical measures of sarcopenia in older patients with chronic lower back pain. *J Frailty Sarcopenia Falls*. 2022;7(2):52–59. <https://doi.org/10.22540/JFSF-07-052>
19. Hodges P, Holm AK, Hansson T, Holm S. Rapid atrophy of the lumbar multifidus follows experimental disc or nerve root injury. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(25):2926–2933. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000248453.51165.0b>
20. Kalichman L, Carmeli E, Been E. The Association between Imaging Parameters of the Paraspinal Muscles, Spinal Degeneration, and Low Back Pain. *Biomed Res Int*. 2017;2017:2562957. <https://doi.org/10.1155/2017/2562957>
21. Влодавец ДВ, Казаков ДО. Диагностические возможности МРТ мышц при нервно-мышечных заболеваниях. *Неврологический журнал*. 2014;19(3):4–12. [Vlodavets DV, Kazakov DO. Diagnostic capabilities of muscle MRI in neuromuscular diseases. *The Neurological Journal*. 2014;19(3):4–12. (In Russ.)].
22. Гомболовский ВА, Харламов КА, Пятницкий ИА, Ким СЮ, Морозов СП. Шаблоны протоколов описаний исследований по специальности «Рентгенология». Магнитно-резонансная томография. Методические рекомендации № 21. М.; 2016. [Gomboleviskij VA Harlamov KA, Pjaticnikij IA, Kim SJu, Morozov SP. Templates of protocols of research descriptions in the specialty “Radiology”. Magnetic resonance imaging. Methodical recommendations No. 21. Moscow; 2016. (In Russ.)].
23. Кудрявцева ИП, Сафонова ГД, Бердюгин КА. Состояние паравертебральных мышц при заболеваниях позвоночника (обзор литературы). *Современные проблемы науки и образования*. 2015;5:166. [Kudryavtseva IP, Safonova GD, Berdyugin KA. State of paravertebral muscles in spinal diseases (literature review). *Modern problems of science and education*. 2015;5:166. (In Russ.)].
24. Hides J, Stanton W, Mendis MD, Sexton M. The relationship of transversus abdominis and lumbar multifidus clinical muscle tests in patients with chronic low back pain. *Man Ther*. 2011;16:573–577. <https://doi.org/10.1016/j.math.2011.05.007>
25. Colakoglu B, Alis D. Evaluation of lumbar multifidus muscle in patients with lumbar disc herniation: are complex quantitative MRI measurements needed? *J Int Med Res*. 2019;47(8):3590–3600. <https://doi.org/10.1177/0300060519853430>

26. Joseph A, McGuinness K, Welch N, Coyle J, Franklyn-Miller A, O'Connor N, Moran K. Fat quantification in MRI-defined lumbar muscles. In: 4th International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA). Paris, France; 2014. <https://doi.org/10.1109/IPTA.2014.7001983>
27. Felipe VG, Amaral CAB, Labronici PJ. Correlation between low back pain due to fatty degeneration and sex and age: study by MRI. *Columa/Columa*. 2021;20(4):272–277. <https://doi.org/10.1590/s1808-185120212004250500>
28. Hides J, Gilmore C, Stanton W, Bohlscheid E. Multifidus size and symmetry among chronic LBP and healthy asymptomatic subjects. *Man Ther*. 2008;13(1):43–49. <https://doi.org/10.1016/j.math.2006.07.017>
29. Зубарев АВ. Диагностический ультразвук. Костно-мышечная система. М.: СТРОМ; 2002:132 с. [Zubarev AV. Diagnostic ultrasound. Musculoskeletal system. Moscow: Strom, 2002:132 p. (In Russ.)].
30. Щурова ЕН., Меншикова ТИ., Филимонова ГН. Сопоставление ультразвуковых и морфологических результатов исследования паравертебральных мышц на вершине деформации у больных с кифосколиозом на фоне нейрофиброматоза I типа. *Гений ортопедии*. 2018;24(1):70–74. [Shhurova EN, Menshikova TI, Filimonova GN. Comparison of ultrasound and morphological findings of paravertebral muscles at the apex of the deformity in patients with kyphoscoliosis on the background of neurofibromatosis type I. *Genij ortopedii*. 2018;24(1):70–74. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2018-24-1-70-74>
31. Thakar S, Sivaraju L, Aryan S, Mohan D, Sai Kiran NA, Hegde AS. Lumbar paraspinal muscle morphometry and its correlations with demographic and radiological factors in adult isthmic spondylolisthesis: a retrospective review of 120 surgically managed cases. *J Neurosurg Spine*. 2016;24(5):679–685. <https://doi.org/10.3171/2015.9.SPINE15705>
32. Ding JZ, Kong C, Li XY, Sun XY, Lu SB, Zhao GG. Different degeneration patterns of paraspinal muscles in degenerative lumbar diseases: a MRI analysis of 154 patients. *Eur Spine J*. 2022;31(3):764–773. <https://doi.org/10.1007/s00586-021-07053-2>
33. Naghdi N, Mohseni-Bandpei MA, Taghipour M, Rahmani N. Lumbar Multifidus Muscle Morphology Changes in Patient with Different Degrees of Lumbar Disc Herniation: An Ultrasonographic Study. *Medicina (Kaunas)*. 2022;57(7):699. <https://doi.org/10.3390/medicina57070699>
34. Gibbon KC, Debus D, Hibbs A, Caplan N. Reliability and Precision of Sonography of the Lumbar Multifidus and Transversus Abdominis During Dynamic Activities. *J Ultrasound Med*. 2017;36(3):571–581. <https://doi.org/10.7863/ultra.16.03059>
35. Sánchez Romero EA, Alonso Pérez JL, Muñoz Fernández AC, Battagliano A, Castaldo M, Cleland JA, Villafañe JH. Reliability of Sonography Measures of the Lumbar Multifidus and Transversus Abdominis during Static and Dynamic Activities in Subjects with Non-Specific Chronic Low Back Pain. *Diagnostics (Basel)*. 2021;11(4):632. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11040632>
36. Sarafadeen R, Ganiyu SO, Ibrahim AA, Ismail A, Akindele MO, Kaka B, Awotidebe AW. Effectiveness of lumbar stabilization exercise with real-time ultrasound imaging biofeedback on lumbar multifidus muscle cross-sectional area in individuals with non-specific chronic low back pain: a study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2022;23(1):20. <https://doi.org/10.1186/s13063-021-05952-9>
37. Larivière C, Gagnon DH, Henry SM, Preuss R, Dumas JP. The Effects of an 8-Week Stabilization Exercise Program on Lumbar Multifidus Muscle Thickness and Activation as Measured With Ultrasound Imaging in Patients With Low Back Pain: An Exploratory Study. *PM R*. 2018;10(5):483–493. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2017.10.005>
38. Hwang YI, Park DJ. Comparison of lumbar multifidus thickness and perceived exertion during graded superman exercises with or without an abdominal drawing-in maneuver in young adults. *J Exerc Rehabil*. 2018;14(4):628–632. <https://doi.org/10.12965/jer.1836296.148>
39. Dafkou K, Kellis E, Ellinoudis A, Sahinis C. Lumbar Multifidus Muscle Thickness During Graded Quadruped and Prone Exercises. *Int J Exerc Sci*. 2021;14(7):101–112. PMID: 34055178
40. Sweeney N, O'Sullivan C, Kelly G. Multifidus muscle size and percentage thickness changes among patients with unilateral chronic low back pain (CLBP) and healthy controls in prone and standing. *Man Ther*. 2014;19(5):433–439. <https://doi.org/10.1016/j.math.2014.04.009>
41. Chan ST, Fung PK, Ng NY, Ngan TL, Chong MY, Tang CN et al. Dynamic changes of elasticity, cross-sectional area, and fat infiltration of multifidus at different postures in men with chronic low back pain. *Spine J*. 2012;12(5):381–8. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2011.12.004>
42. Masaki M, Aoyama T, Murakami T, Yanase K, Ji X, Tateuchi H, Ichihashi N. Association of low back pain with muscle stiffness and muscle mass of the lumbar back muscles, and sagittal spinal alignment in young and middle-aged medical workers. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2017;49:128–133. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2017.09.008>
43. Goubert D, Oosterwijck JV, Meeus M, Danneels L. Structural Changes of Lumbar Muscles in Non-specific Low Back Pain: A Systematic Review. *Pain Physician*. 2016;19(7):E985–E1000. PMID: 27676689
44. Команцев ВН, Помников ВГ. Краткий курс электромиографии для неврологов и врачей общей практики. Санкт-Петербург: Береста; 2021. [Komancev VN, Pomnikov VG. A short course in electromyography for neurologists and general practitioners. Sankt-Peterburg: Beresta; 2021. (In Russ.)].
45. Preston DC, Shapiro BE. Electromyography and neuromuscular disorders: clinical-electrophysiological correlations. Butterworth-Heinemann; 2005.
46. Селиверстова ЕГ, Синкин МВ, Кордонский АЮ, Алейникова ИБ, Тихомиров ИВ, Гринь АА. Электромиографические методы в дифференциальной диагностике и обосновании нейрохирургического лечения радикулопатий, вызванных заболеваниями позвоночника. информативность и методология. *Журнал «Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко»*. 2022;86(2):109–118. [Seliverstova EG, Sinkin MV, Kordonskiy AY, Aleinikova IB, Tikhomirov IV, Grin AA. Electrodiagnostic evaluation in differential diagnosis and neurosurgical treatment of radiculopathies caused by spine disorders. Diagnostic value and methodology. *Zhurnal Voprosy NeirokhirurgiiImeni N.N. Burdenko*. 2022;86(2):109–118. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/neiro202286021109>
47. Gough JG, Koepke GH. Electromyographic determination of motor root levels in erector spinae muscles. *Arch Phys Med Rehabil*. 1966;47(1):9–11. PMID: 5902998
48. Dillingham TR, Lauder TD, Andary M, Kumar S, Pezzin LE, Stephens RT, Shannon S. Identifying lumbosacral radiculopathies: an optimal electromyographic screen. *Am J Phys Med Rehabil*. 2000;79(6):496–503. <https://doi.org/10.1097/00002060-200011000-00002>
49. Haig AJ, LeBreck DB, Powley SG. Paraspinal mapping. Quantified needle electromyography of the paraspinal muscles in persons without low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1995;20(6):715–721. PMID: 7604348
50. Date ES, Kim B-J, Yoon JS, Park BK. Cervical paraspinal spontaneous activity in asymptomatic subjects. *Muscle Nerve*. 2006;34(3):361–364. <https://doi.org/10.1002/mus.20557>
51. Barkhaus PE, Periquet MI, Nandedkar SD. Quantitative motor unit action potential analysis in paraspinal muscles. *Muscle Nerve*. 1997;20(3):373–375. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4598\(199703\)20:3<373::AID-MUS19>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4598(199703)20:3<373::AID-MUS19>3.0.CO;2-1)
52. Gilad R, Dabby R, Boaz M, Sadeh M. Cervical paraspinal electromyography: normal values in 100 control subjects. *J Clin Neurophysiol*. 2006;23(6):573–576. <https://doi.org/10.1097/01.wnp.0000232190.94175.ab>

53. Posa A, Niškiewicz I, Emmer A, Kluge Y, Kornhuber ME. Motor unit potentials of the erector spinae muscle by concentric needle electromyography. *Brain Behav.* 2017;7(3):e00627. <https://doi.org/10.1002/brb3.627>
54. Tomasella M, Crielaard J-M, Wang F-C. Dorsal and lumbar paraspinal electromyographic study. Multi-MUP analysis and drawing up normal values in a reference population. *Neurophysiol Clin.* 2002;32(2):109–117. [https://doi.org/10.1016/s0987-7053\(02\)00295-2](https://doi.org/10.1016/s0987-7053(02)00295-2)
55. Travlos A, Trueman S, Eisen A. Monopolar needle evaluation of paraspinal musculature in the cervical, thoracic, and lumbar regions and the effects of aging. *Muscle Nerve.* 1995;18(2):196–200. <https://doi.org/10.1002/mus.880180208>
56. Jeppesen TD, Levison L, Codeluppi L, Krarup C. Quantitative electromyography: Normative data in paraspinal muscles. *Muscle Nerve.* 2020;62(3):358–362. <https://doi.org/10.1002/mus.27000>
57. Cho SC, Ferrante MA, Levin KH, Harmon RL, So YT. Utility of electrodiagnostic testing in evaluating patients with lumbosacral radiculopathy: An evidence-based review. *Muscle Nerve.* 2010;42(2):276–282. <https://doi.org/10.1002/mus.21759>
58. Huang YL, Zhou JL, Jiang YM, Zhang ZG, Zhao W, Han D, He B. Assessment of lumbar paraspinal muscle activation using fMRI BOLD imaging and T2 mapping. *Quant Imaging Med Surg.* 2020;10(1):106–115. <https://doi.org/10.21037/qims.2019.10.20>
59. Kiesel KB, Uhl T, Underwood FB, Nitz AJ. Rehabilitative ultrasound measurement of select trunk muscle activation during induced pain. *Man Ther.* 2008;13(2):132–138. <https://doi.org/10.1016/j.math.2006.10.003>
60. Dickx N, Cagnie B, Parlevliet T, Lavens A, Danneels L. The effect of unilateral muscle pain on recruitment of the lumbar multifidus during automatic contraction. An experimental pain study. *Man Ther.* 2010;15(4):364–349. <https://doi.org/10.1016/j.math.2010.02.002>
61. Zhang S, Xu Y, Han X, Wu W, Tang Y, Wang C. Functional and morphological changes in the deep lumbar multifidus using electromyography and ultrasound. *Sci Rep.* 2018;8(1):6539. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24550-5>

Поступила 04.07.2022
Принята к печати 08.12.2022