Сопоставление ультразвуковых и морфологических результатов исследования паравerteбральных мышц на вершине деформации у больных с кифосколиозом на фоне нейрофиброматоза I типа

Е.Н. Щурова, Т.И. Менщикова, Г.Н. Филимонова

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г.А. Илизарова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган, Россия

Comparison of ultrasonographic and morphological findings of paravertebral muscles at the apex of kyphoscoliosis in patients with neurofibromatosis type I

E.N. Shchurova, T.I. Menshchikova, G.N. Filimonova

Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia

Введение. В литературе, несмотря на обширные научные исследования, посвященные кифосколиозу на фоне нейрофиброматоза I типа, критерии диагностики по-прежнему остаются клиническими. Оценке состояния мышц спины данной категории пациентов не уделено должного внимания. **Цель.** Сопоставление ультразвуковых и морфологических результатов исследования состояния паравerteбральных мышц на вершине деформации у больных с кифосколиозом на фоне нейрофиброматоза I типа. **Материал и методы.** Работа основана на результатах обследования 10 больных, которым проводилось хирургическое лечение по поводу устранения деформации позвоночника. До оперативного лечения было выполнено ультразвуковое исследование паравerteбральных мышц. Во время операции брали биоптат мышц в проекции вершины деформации и проводили гистологический анализ с помощью световой микроскопии. **Результаты.** Исследование структурного состояния паравerteбральных мышц с помощью УЗИ у больных с нейрофиброматозом позволило определить характерную гипертрофию в области кифоза, нарушение мышечной исчерченности с обеих сторон, а также высокие значения акустической плотности мышц. Выявленные при морфологических исследованиях фиброз эндо- и перимизия, а также обширные участки фиброза и поля адипоцитов, заместивших мышечные волокна, объясняют наличие большого количества гиперэхогенных гипертрофированных пучков волокон, визуализируемых при ультразвуковом сканировании. **Заключение.** Результаты ультразвукового исследования паравerteбральных мышц (гипертрофия, нарушение мышечной исчерченности, высокая акустическая плотность) соответствуют патоморфологическим изменениям (фиброз эндо- и перимизия, обширные участки фиброза и поля адипоцитов, заместивших мышечные волокна). Полученные данные свидетельствуют о перерождении мышечной ткани по типу замещения с последующей функциональной несостоятельностью. Использование УЗИ позволит на любом этапе лечебно-реабилитационного процесса исследовать состояние параспинальных мышц, оценить толщину поверхностных и глубоких мышц, уровень акустической плотности, отражающей фиброзное изменение и жировое замещение мышечной ткани.

Ключевые слова: нейрофиброматоз, кифосколиоз, паравerteбральные мышцы, ультразвуковой метод исследования, световая микроскопия

Background With the extensive research literature on kyphoscoliosis diagnostic criteria remain clinical in patients with neurofibromatosis type I. Paraspinal muscles have been under-evaluated in the cohort of patients. **Objective** To compare ultrasonographic and morphological measurements of paraspinal muscles at the apex of kyphoscoliosis in patients with neurofibromatosis type I. **Material and methods** The study included 10 patients who underwent surgical correction of spine deformity. Ultrasound measurements of paraspinal muscles were produced preoperatively. Muscle biopsy specimen was obtained intraoperatively at the apex of the deformity and histologically evaluated with optical microscope. **Results** Ultrasonographic examination of paraspinal muscles showed typical hypertrophy at the kyphosis site, bilaterally impaired striation and high acoustic impedance in patients with neurofibromatosis. Morphological evaluation revealed fibrosis of endomysium and perimysium, extensive areas of fibrosis and adipocytes replacing muscular fibres that translated into a great number of hyperechoic hypertrophic bundles of fibres on ultrasonographic images. **Conclusion** Ultrasonographic findings of paraspinal muscles (hypertrophy, impaired muscle striation, high acoustic impedance) are on par with pathomorphological manifestations (revealed fibrosis of endomysium and perimysium, extensive areas of fibrosis and adipocytes replacing muscular fibres). The findings indicate to degeneration of muscle tissue with malfunction to follow. Ultrasound imaging allows for examination of paraspinal muscles, measuring thickness of superficial and deep muscles, acoustic impedance to identify fibrous changes and replacement of muscles by adipose tissue.

Keywords: neurofibromatosis, kyphoscoliosis, paraspinal muscles, ultrasonography, optical microscopy

ВВЕДЕНИЕ

Нейрофиброматоз – это наиболее распространенная форма моногенной наследственной патологии, встречающаяся в популяции с частотой от 1:2000 до 1:4000 [1, 2, 3]. В 25–50 % случаев нейрофиброматоз I типа проявляется кифосколиотической деформацией позвоночника [3, 4, 5]. Особенностью данных деформаций является ранняя манифестация и быстрое прогрессирование [6, 7, 8]. Без коррекции деформаций развиваются необратимые сердечно-легочные и неврологические

нарушения, предотвратить которые может только хирургическое вмешательство [7, 9]. Нейрофиброматоз, как системное заболевание, требует мультидисциплинарного подхода к диагностике и лечению [6, 7]. В литературе, несмотря на обширные научные исследования, критерии диагностики остаются клиническими [8]. Оценке состояния мышц спины данной категории пациентов не уделено должного внимания. При обосновании методик задней торакопластики и планировании

послеоперационных реабилитационных мероприятий необходимо учитывать особенности морфофункционального состояния мягких тканей в области предполагаемого оперативного вмешательства [10, 11].

Ультразвуковое исследование мышц приобретает все большую популярность [12, 13, 14, 15, 16, 17]. Этот метод не несет лучевой нагрузки на пациента, не инва-

зивен, сравнительно недорогой и может быть воспроизведен на любом этапе реабилитации пациента.

Цель работы – сопоставление ультрасонографических и морфологических результатов исследования состояния паравертебральных мышц на вершине деформации у больных с кифосколиозом на фоне нейрофиброматоза I типа.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работа основана на результатах обследования 10 пациентов (5 мужчин и 5 женщин) с кифосколиозом на фоне нейрофиброматоза I типа в возрасте 9–24 лет (средний возраст $16,0 \pm 1,9$ года). Величина деформации позвоночника была в пределах от 50 до 140° (в среднем $98,0 \pm 12,2^\circ$) по Cobb [18]. Вертебральный синдром был представлен в 8 случаях дугой в грудно-поясничном отделе, у 2-х больных – дугой в шейно-грудном отделе позвоночника. Исследование одобрено комитетом по этике ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» МЗ РФ и проводилось в соответствии с этическими стандартами, изложенными в Хельсинской декларации. Родители детей или их законные представители подписали информированное добровольное согласие на проведение диагностических исследований и публикацию данных без идентификации личности.

Ультразвуковые исследования (УЗИ) паравертебральных мышц выполнены на аппарате AVISUS Hitachi (Япония) с использованием линейного датчика с частотой 7,5 МГц. Обследование проводили в положении пациента лежа на животе в состоянии физического покоя. Для исследования паравертебральных мышц датчик устанавливали косо-диагонально относительно контура позвоночного столба на высоте деформации. При постоянной стандартной настройке аппарата с

помощью стандартных программ определяли акустическую плотность (АП, усл. ед.) мышц. Результаты ультразвуковых исследований больных сравнивали с данными 10 здоровых людей обоего пола в возрасте от 9 до 24 лет.

Для морфологического анализа паравертебральных мышц во время операции брали биоптат в проекции вершины деформации при выполнении доступа к задним отделам позвоночного столба. Биоптат фиксировали в 10 % нейтральном формалине с последующей гистологической проводкой и заливкой в парафин. Изготовленные на микротоме «Bromma-2218» (LKB, Швеция) срезы окрашивали гематоксилином и эозином, по Ван-Гизону и трихромным методом по Массону. Препараты исследовали с помощью светового микроскопа «Opton» (Германия), встроенной фотокамеры и аппаратно-программного комплекса «ДиаМорф» (Россия) в программе «Color».

Статистическая обработка проводилась с помощью программы Microsoft EXCEL-2010 с надстройкой AtteStat [19]. Использовали методы непараметрической статистики. Для оценки достоверности различия средних использовали t-критерий Стьюдента и непараметрический критерий Манна – Уитни. Принятый уровень значимости – 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование паравертебральных мышц грудного отдела у здоровых обследуемых с помощью УЗИ показало, что мышцы имеют характерную исчерченность, пучки мышечных волокон ориентированы по вектору натяжения. На фоне гипоехогенной мышеч-

ной ткани хорошо визуализируется эхогенный перимизий и тонкие прослойки эндомизия внутри мышцы (рис. 1, а).

Значения акустической плотности исследуемых мышц представлены в таблице.

Рис. 1. Сонограммы паравертебральных мышц: а – здорового обследуемого 24 лет; б – больного Г., 24 года, диагноз: кифосколиоз на фоне нейрофиброматоза I типа. Сканирование выполнено на уровне кифоза. У здорового обследуемого толщина поверхностных и глубоких мышц составляла 4,4 мм и 7,3 мм соответственно, акустическая плотность поверхностных и глубоких мышц – 127 усл. ед. и 91 усл. ед. соответственно. У больного Г. толщина поверхностных и глубоких мышц была 5,2 мм и 7,5 мм соответственно, акустическая плотность поверхностных и глубоких мышц – 152 усл. ед. и 178 усл. ед. соответственно

Таблица

Показатели акустической плотности ($M \pm m$) паравертебральных мышц у здоровых обследуемых и у больных с кифосколиозом на фоне нейрофиброматоза I типа

Группы обследуемых	Акустическая плотность (усл. ед.)	
	поверхностные мышцы	глубокие мышцы
Здоровые обследуемые ($n = 10$)	137 ± 6	91 ± 11
Больные с нейрофиброматозом I типа ($n = 10$)	$152 \pm 4^*$	$180 \pm 5^*$

Примечание: * - достоверность отличия от уровня нормы, $p < 0,05$.

Ультразвуковое исследование структурного состояния паравертебральных мышц у больных с нейрофиброматозом позволило выявить выраженную асимметрию поверхностных и глубоких мышц спины с характерной гипертрофией в области кифоза. Так, толщина поверхностных и глубоких мышц в области кифоза составляла $9,62 \pm 3,2$ мм и $7,12 \pm 2,2$ мм, на контралатеральной стороне $7,58 \pm 3,4$ мм и $6,52 \pm 2,8$ мм соответственно, т. е. наблюдалась тенденция к увеличению толщины мышц в области кифоза. Визуализировалось нарушение характерной мышечной исчерченности с обеих сторон (рис. 1, б). Акустическая плотность поверхностных и глубоких мышц больных была больше, чем у здоровых обследуемых на 11 % ($p < 0,05$) и 98 % ($p < 0,05$) соответственно (таблица). Во время ультразвукового исследования также было выявлено большое количество протяженных (длиной 0,4–1,1 см) гиперэхогенных структур с высокой акустической плотностью (акустическая плотность 198–200 усл. ед.) и толщиной (0,04–0,08 см), соответствующих пучкам мышечных волокон.

Таким образом, большое количество гиперэхогенных гипертрофированных пучков мышечных волокон с высокой акустической плотностью мышц свидетельствует о наличии выраженного фиброзного изменения мышечной ткани.

Результаты проведенного неинвазивного ультразвукового тестирования мышц в области кифосколиоза у больных с нейрофиброматозом согласуются с результатами морфологического исследования.

У больных с кифосколиозом на фоне нейрофиброматоза I типа во всех случаях основным патоморфологическим изменением был выраженный фиброз в большинстве мышечных пучков эндо- и перимизия (рис. 2, а), замещение мышечных волокон полями адипоцитов (жировое замещение ткани) (рис. 2, б). В биоптатах обнаружена разнокалиберность диаметров мышечных волокон округлой формы, содержащих многочисленные мелкие ядра; выявлены атрофированные волокна и мышечные волокна, подвергнутые дегенеративным изменениям (рис. 2, в). Во внутримышечных нервных стволиках определялись признаки аксонопатии нервных волокон, которые были разделены утолщенными соединительнотканными перегородками (рис. 2, г).

Таким образом, результаты морфологических исследований показывают, что у больных с нейрофиброматозом I типа в паравертебральных мышцах выявлен фиброз, атрофия, дегенерация мышечных волокон, жировое замещение мышечной ткани.

Рис. 2. Биоптат паравертебральной мышцы пациента с кифосколиозом на фоне нейрофиброматоза I типа. Парафиновые срезы: а – фиброз эндо- и перимизия, фиброз интерстициального пространства, дегенерирующие мышечные волокна; б – обширные поля адипоцитов, заместившие мышечные волокна; в – дегенерирующие мышечные волокна, атрофия мышечных волокон, интерстициальный фиброз; г – фиброз внутримышечных нервных стволиков, аксонопатия нервных волокон. Окраска: а, б, в – по Ван-Гизону; г – гематоксилином и эозином. Увеличение: об. – $16\times$, ок. – $12,5\times$

ОБСУЖДЕНИЕ

В научных публикациях, посвященных нейрофиброматозу I типа (болезни Реклингхаузена, периферическому нейрофиброматозу), уделяется мало внимания структурным особенностям мягких тканей, в том числе мышцам спины [10, 20, 21, 22]. Анализ особенностей клинического течения нейрофиброматоза I показал, что у больных с данной патологией может быть снижен мышечный тонус, негрубо нарушена координация движений [2].

Ультразвуковой метод исследования позволяет визуализировать мышцы и говорить об особенностях их строения у детей и взрослых, мужчин и женщин [13]. Мышцы низкоэхогенны. На фоне гипозоногенной мышечной ткани хорошо визуализируется эхогенный перимизий и тонкие прослойки эндомизия внутри мышцы [13, 14, 15, 17].

В нашей работе исследование структурного состояния паравертебральных мышц с помощью метода УЗИ у больных с нейрофиброматозом позволило выявить характерную гипертрофию на высоте кифоза, нарушение мышечной исчерченности с обеих сторон, а также высокие значения акустической плотности. Было определено большое количество протяженных гиперэхогенных структур с высокой акустической плотностью и толщиной, соответствующих пучкам мышечных волокон, свидетельствующих о наличии выраженного фиброзного изменения мышечной ткани.

В норме структура мышцы представлена мышечными волокнами полигональной формы с нормальным

расположением ядер, прослойками эндо- и перимизия, сосудами артериолярного звена с циркулярно ориентированными гладкомышечными клетками и нормальными просветами.

В наших исследованиях результаты морфологического анализа показали, что у больных с нейрофиброматозом I типа в паравертебральных мышцах выявлен фиброз, атрофия, дегенерация мышечных волокон, поля адипоцитов, заместивших мышечные волокна, что свидетельствует о перерождении мышечной ткани по типу замещения с последующей функциональной несостоятельностью.

Выявленные при морфологических исследованиях фиброз эндо- и перимизия, а также обширные участки фиброза и поля адипоцитов, заместивших мышечные волокна, объясняют наличие большого количества гиперэхогенных гипертрофированных пучков волокон, визуализируемых при ультразвуковом сканировании.

По мнению S. Pillen et al. [16], атрофия мышц, жировая инфильтрация и внутримышечный фиброз могут быть обнаружены с помощью УЗИ. Использование ультразвукового метода при обследовании больных с нейрофиброматозом I типа позволит на любом этапе лечебно-реабилитационного процесса исследовать состояние параспинальных мышц, оценить толщину поверхностных и глубоких мышц, уровень акустической плотности, отражающей фиброзное изменение и жировое замещение мышечной ткани.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование паравертебральных мышц у больных с кифосколиозом на фоне нейрофиброматоза I типа показало, что результаты УЗИ (гипертрофия, нарушение мышечной исчерченности, высокая акустическая плотность) соответствуют патоморфологическим изменениям (фиброз эндо- и перимизия, обширные участки фиброза и поля адипоцитов, заместивших мышечные волокна). Полученные данные свидетельствуют о

перерождении мышечной ткани по типу замещения с последующей функциональной несостоятельностью. Метод УЗИ может позволить проводить тестирование паравертебральных мышц на любом этапе лечебно-реабилитационного процесса, оценить толщину поверхностных и глубоких мышц, уровень акустической плотности, отражающей фиброзное изменение и жировое замещение мышечной ткани.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайловский М.В., Зайдман А.М., Лебедева М.Н. Хирургическая коррекция деформаций позвоночника при нейрофиброматозе: опыт применения CDI // Хирургия позвоночника. 2008. № 3. С. 8-15.
2. Шнайдер Н.А. Нейрофиброматоз I-го типа: этиопатогенез, клиника, диагностика, прогноз // Междунар. невролог. журнал. 2007. № 5. С. 162-168.
3. Crawford A.H., Herrera-Soto J. Scoliosis associated with neurofibromatosis // Orthop. Clin. North Am. 2007. Vol.38, No 4. P. 553-562.
4. Prevalence of scoliosis in neurofibromatosis / B.A. Akbaria, K.R. Gabriel, E. Beckman, D. Chalk // Spine. 1992. Vol. 17, No 8 Suppl. P. S244-S248.
5. Tsirikos A.I., Saifuddin A., Noordeen M.H. Spinal deformity in neurofibromatosis type-1: diagnosis and treatment // Eur. Spine J. 2005. Vol. 14, No 5. P. 427-439.
6. Feldman D.S., Jordan C., Fonseca L. Orthopaedic manifestations of neurofibromatosis type I // Am. Acad. Orthop. Surg. 2010. Vol.18, No 6. P. 346-357.
7. Orthopaedic manifestations of Von Recklinghausen's neurofibromatosis / M.Trigui, K. Ayadi, M. Sakka, W. Zribi, F. Frikha, F. Gdoura, S. Sallemi, M. Zribi, H. Keskes // Press. Med. 2011. Vol. 40, No 3. P. e152-e162. doi: 10.1016/j.lpm.2010.09.025.
8. Vitale M.G., Guha A., Skaggs D.L. Orthopaedic manifestations of neurofibromatosis in children: an update // Clin. Orthop. Relat. Res. 2002. No 401. P. 107-118.
9. Spine deformity in neurofibromatosis. A review of one hundred and two patients / R.B. Winter, J.H. Moe, D.S. Bradford, J.E. Lonstein, C.V. Pedras, A.H. Weber // J. Bone Joint Surg. Am. 1979. Vol. 61, No 5. P. 677-694.
10. Исследование кожной чувствительности и морфологической структуры кожи спины у пациентов с кифосколиозом на фоне нейрофиброматоза I типа / Е.Н. Щурова, Е.Н. Горбач, П.В. Очинова, С.О. Рябых // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исслед. 2016. № 1. С. 548-554.
11. Состояние температурно-болевой чувствительности и морфологические особенности кожи спины у больных идиопатическим сколиозом III-IV степени / Е.Н. Горбач, Е.Н. Щурова, А.Е. Кобышев, С.О. Рябых, П.В. Очинова // Рос. физиол. журнал им. И.М. Сеченова. 2015. Т. 101, № 3. С. 349-359.
12. Дворяковский И.В., Ляпис О.И., Сергеева Т.В. Ультразвуковая характеристика скелетных мышц при хроническом гломерулонефрите у детей // SonoAce-Ultrasound. 2000. № 7. С. 53-58. URL: <http://www.medison.ru/si/art96.htm>
13. Делягин В.М. Ультразвуковое исследование мышц в норме и при нейромышечной патологии // SonoAce-Ultrasound. 2015. № 27. URL: <http://www.medison.ru/si/art401.htm>
14. Muscle ultrasonography as an additional diagnostic tool for the diagnosis of amyotrophic lateral sclerosis / A. Grimm, T. Prell, B.F. Décard, U. Schumacher, O.W. Witte, H. Axer, J. Grosskreutz // Clin. Neurophysiol. 2015. Vol. 126, No 4. P. 820-827. doi: 10.1016/j.clinph.2014.06.052.
15. Muscle ultrasonography: a diagnostic tool for amyotrophic lateral sclerosis / I.M. Arts, S. Overeem, S. Pillen, B.U. Kleine, W.A. Boekestein, M.J. Zwarts,

- H. Jurgen Schelhaas // Clin. Neurophysiol. 2012. Vol. 123, No 8. P. 1662-1667. doi: 10.1016/j.clinph.2011.11.262.
16. Skeletal muscle ultrasound: correlation between fibrous tissue and echo intensity / S. Pillen, R.O. Tak, M.J. Zwarts, M.M. Lammens, K.N. Verrijp, I.M. Arts, J.A. van der Laak, P.M. Hoogerbrugge, B.G. van Engelen, A. Verrips // Ultrasound Med. Biol. 2009. Vol. 35, No 3. P. 443-446. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2008.09.016.
17. Ultrasound of nerve and muscle / F.O. Walker, M.S. Cartwright, E.R. Wiesler, J. Caress // Clin. Neurophysiol. 2004. Vol. 115, No 3. P. 495-507.
18. Cobb J.R. The problem of the primary curve // J. Bone Joint Surg. Am. 1960. Vol. 42-A. P. 1413-1425.
19. Гайдышев И.П. Анализ и обработка данных : спец. справочник. СПб. : Питер, 2001. 145 с.
20. Mutations in Col4al cause perinatal cerebral hemorrhage and porencephaly / D.B. Gould, F.C. Phalan, G.J. Breedveld, S.E. van Mil, R.S. Smith, J.C. Schimenti, U. Aguglia, M.S. van der Knaap, P. Heutink, S.W. John // Science. 2005. Vol. 308, No 5725. P. 1167-1171.
21. Hsu L.C., Lee P.C., Leong J.C. Dystrophic spinal deformities in neurofibromatosis. Treatment by anterior and posterior fusion // J. Bone Joint Surg. Br. 1984. Vol. 66, No 4. P. 495-499.
22. McCarroll H.R. Clinical manifestations of congenital neurofibromatosis // J. Bone Joint Surg. Am. 1950. Vol. 32-A, No 3. P. 601-617.

REFERENCES

1. Mikhailovskii M.V., Zaidman A.M., Lebedeva M.N. Khirurgicheskaya korektsiya deformatsii pozvonochnika pri neurofibromatoze: opyt primeneniia CDI [Surgical correction of the spine deformities for neurofibromatosis: experience of CDI using]. *Khirurgiia Pozvonochnika*, 2008, no. 3, pp. 8-15. (In Russian)
2. Shnaider N.A. Neurofibromatoz 1-go tipa: etiopatogenez, klinika, diagnostika, prognoz [Neurofibromatosis type 1: etiopathogenesis, clinical picture, diagnosis, prognosis]. *Mezhdunarodnyi Nevrologicheskii Zhurnal*, 2007, no. 5, pp.162-168. (In Russian)
3. Crawford A.H., Herrera-Soto J. Scoliosis associated with neurofibromatosis. *Orthop. Clin. North Am.*, 2007, vol.38, no. 4, pp. 553-562. DOI: 10.1016/j.ocl.2007.03.008.
4. Akbarnia B.A., Gabriel K.R., Beckman E., Chalk D. Prevalence of scoliosis in neurofibromatosis. *Spine*, 1992, vol.7, no. 8, pp. S244-S248.
5. Tsirikos A.I., Saifuddin A., Noordeen M.H. Spinal deformity in neurofibromatosis type-1: diagnosis and treatment. *Eur. Spine J.*, 2005, vol. 14, no. 5, pp. 427-439. DOI: 10.1007/s00586-004-0829-7.
6. Feldman D.S., Jordan C., Fonseca L. Orthopaedic manifestations of neurofibromatosis type 1. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.*, 2010, vol.18, no. 6, pp. 346-357.
7. Trigui M., Ayadi K., Sakka M., Zribi W., Frikha F., Gdoura F., Sallemi S., Zribi M., Keskes H. Orthopaedic manifestations of Von Recklinghausen's neurofibromatosis. *Presse Med.*, 2011, vol. 40, no. 3, pp. e152-e162. DOI: 10.1016/j.lpm.2010.09.025.
8. Vitale M.G., Guha A., Skaggs D.L. Orthopaedic manifestations of neurofibromatosis in children: an update. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 2002, no. 401, pp. 107-118.
9. Winter R.B., Moe J.H., Bradford D.S., Lonstein J.E., Pedras C.V., Weber A.H. Spine deformity in neurofibromatosis. A review of one hundred and two patients. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 1979, vol. 61, no. 5, pp. 677-694.
10. Shchurova E.N., Gorbach E.N., Ochirova P.V., Riabykh S.O. Issledovanie kozhnoi chuvstvitel'nosti i morfologicheskoi struktury kozhi spiny u patsientov s kifoskoliozom na fone neurofibromatoza I tipa [Studying cutaneous sensitivity and morphological structure of the back skin in patients with kyphoscoliosis through type I neurofibromatosis]. *Mezhdunarodnyi Zhurnal Prikladnykh i Fundamental'nykh Issledovaniy*, 2016, no. 1, pp. 548-554. (In Russian)
11. Gorbach E.N., Shchurova E.N., Kobzyev A.E., Riabykh S.O., Ochirova P.V. Sostoianie temperaturno-bolevoi chuvstvitel'nosti i morfologicheskoe osobennosti kozhi spiny u bol'nykh idiopaticheskimi skoliozom III-IV stepeni [Thermoesthesia-and-algesia status and morphological characteristics of the back skin in patients with Degree III-IV idiopathic scoliosis]. *Ros. Fiziol. Zhurnal im. I.M. Sechenova*, 2015, vol. 101, no. 3, pp. 349-359. (In Russian)
12. Dvoriakovskii I.V., Liabis O.I., Sergeeva T.V. Ul'trazvukovaya kharakteristika skeletnykh myshts pri khronicheskom glomerulonefrite u detei [Ultrasound characteristic of skeletal muscles for chronic glomerulonephritis in children]. *SonoAce- International*, 2000, no. 7, pp. 53-58. (In Russian)
13. Deliagin V.M. Ul'trazvukovoe issledovanie myshts v norme i pri neiromyshechnoi patologii [Ultrasound studying muscles in norm and in neuromuscular pathology]. *SonoAce-Ultrasound*, 2015, no. 27, pp. 68-73. (In Russian)
14. Grimm A., Prell T., Décard B.F., Schumacher U., Witte O.W., Axer H., Grosskreutz J. Muscle ultrasonography as an additional diagnostic tool for the diagnosis of amyotrophic lateral sclerosis. *Clin. Neurophysiol.*, 2014, vol. 126, no. 4, pp. 820-827. DOI: 10.1016/j.clinph.2014.06.052.
15. Arts I.M., Overeem S., Pillen S., Kleine B.U., Boekestein W.A., Zwarts M.J., Jurgen Schelhaas H. Muscle ultrasonography: a diagnostic tool for amyotrophic lateral sclerosis. *Clin. Neurophysiol.*, 2012, vol. 123, no. 8, pp. 1662-1667. DOI: 10.1016/j.clinph.2011.11.262.
16. Pillen S., Tak R.O., Zwarts M.J., Lammens M.M., Verrijp K.N., Arts I.M., Van der Laak J.A., Hoogerbrugge P.M., Van Engelen B.G., Verrips A. Skeletal muscle ultrasound: correlation between fibrous tissue and echo intensity. *Ultrasound Med. Biol.*, 2009, vol. 35, no. 3, pp. 443-446. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2008.09.016.
17. Walker F.O., Cartwright M.S., Wiesler E.R., Caress J. Ultrasound of nerve and muscle. *Clin. Neurophysiol.*, 2004, vol. 115, no. 3, pp. 495-507. DOI: 10.1016/j.clinph.2003.10.022.
18. Cobb J.R. The problem of the primary curve. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 1960, vol. 42-A, pp. 1413-1425.
19. Gaidyshev I.P. *Analiz i obrabotka dannykh. Spets. Spravochnik* [Data analysis and processing. Special reference book]. Spb., Piter, 2001, 145 p. (In Russian)
20. Gould D.B., Phalan F.C., Breedveld G.J., Van Mil S.E., Smith R.S., Schimenti J.C., Aguglia U., Van der Knaap M.S., Heutink P., John S.W. Mutations in Col4al cause perinatal cerebral hemorrhage and porencephaly. *Science*, 2005, vol. 308, no. 5725, pp. 1167-1171. DOI: 10.1126/science.1109418.
21. Hsu L.C., Lee P.C., Leong J.C. Dystrophic spinal deformities in neurofibromatosis. Treatment by anterior and posterior fusion. *J. Bone Joint Surg. Br.*, 1984, vol. 66, no. 4, pp. 495-499.
22. McCarroll H.R. Clinical manifestations of congenital neurofibromatosis. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 1950, vol. 32-A, no. 3, pp. 601-617.

Рукопись поступила 06.02.2017

Сведения об авторах:

1. Щурова Елена Николаевна – ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, лаборатория коррекции деформации и удлинения конечностей, ведущий научный сотрудник, д. б. н.
2. Менщикова Татьяна Ивановна – ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, лаборатория коррекции деформации и удлинения конечностей, ведущий научный сотрудник, д. б. н.
3. Филимонова Галина Николаевна – ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, лаборатория морфологии, старший научный сотрудник, к. б. н.

Information about the authors:

1. Elena N. Shchurova, Ph.D. of Biological Sciences, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, Laboratory of Deformity Correction and Limb Lengthening, leading researcher
2. Tat'iana I. Menshchikova, Ph.D. of Biological Sciences, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, Laboratory of Deformity Correction and Limb Lengthening, leading researcher
3. Galina N. Filimonova, Ph.D. of Biological Sciences, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, Laboratory of Morphology, senior researcher