

УДК 616.741-084-073.7(045)

Оценка состояния паравертебральных мышц поясничного отдела с помощью компьютерной томографии (обзор литературы)

В. А. Радченко¹, А. Г. Скиданов¹, Ю. А. Змиенко², Л. А. Левитская²,
Л. П. Мищенко²

¹ ГУ «Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М. И. Ситенко НАМН Украины», Харьков

² МДЦ «LUX», Харьков. Украина

Ключевые слова: паравертебральные мышцы, компьютерная томография, остеохондроз

Медико-социальное значение проблемы лечения дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника неоспоримо, и хотя поиск факторов риска их возникновения не прекращается, патогенез этих заболеваний изучен недостаточно. В некоторых случаях объяснить интенсивный болевой синдром при отсутствии явных рентгенологических морфологических изменений довольно сложно. Недостаток корреляции между морфологическими патологическими и клиническими изменениями в значительной степени определяется мультифакториальной природой боли (включая биологические, физиологические и социальные факторы). Некоторые исследователи плохую взаимосвязь объясняют факторами, которые не принимаются во внимание в процессе обследования пациента. К ним относят изменения околопозвоночных мышц травматической или дегенеративной природы [1, 2].

Существенное расширение представлений об изменениях паравертебральных мышц поясничного отдела позвоночника началось в конце 80-х — начале 90-х годов с развитием компьютерной и магнитно-резонансной томографии, в частности их программного обеспечения [3–6], т. к. другие возможности обследования мягких тканей живых индивидуумов весьма ограничены. Преимущество компьютерной томографии заключается в ее неинвазивности и возможности повторного воспроизведения [7, 8].

Один из способов изучения паравертебральных мышц с помощью компьютерной томографии — измерение площади их поперечного сечения [7–9], которая, как и плотность мышц, зависит от разных факторов, например: возраста, физического состояния, диеты, веса и поясничной боли [8].

Данные о характере возрастных изменений площади поперечного сечения паравертебральных мышц отражены в единичных публикациях. В частности отмечено, что у взрослых с увеличением возраста мышечная масса уменьшается [10–13]. В результате исследований здоровых лиц установлена большая площадь поперечного сечения паравертебральных мышц у мужчин по сравнению с женщинами [8, 13].

Согласно исследованиям З. Ш. Нуриева [14], у здоровых людей площадь поперечного сечения мышцы, выпрямляющей позвоночник, на уровне L_{III} у мужчин в среднем равна 1 919–1 995 мм², у женщин — 1 395–1 468 мм², площадь многораздельной мышцы — соответственно 566–577 мм² и 436–494 мм². Площадь подвздошно-поясничной мышцы у мужчин составляет 1 142–1 190 мм², у женщин — 643–658 мм², площадь квадратной мышцы у мужчин — 542–560 мм², у женщин — 280–284 мм². Таким образом, у здоровых мужчин площадь поперечного сечения мышцы, выпрямляющей позвоночник, и многораздельной мышцы на 20–30 % превышает эти показатели у женщин, а площадь подвздошно-поясничной и квадратной мышц спины — на 50–55 % [14].

Хотя площадь поперечного сечения паравертебральных мышц с помощью КТ и МРТ оценивали многие исследователи [15, 16], только некоторые из них определяли ошибку измерения. R. J. Maughan и соавт. [17], и T. Haggmark и соавт. [4] оценили ошибку измерения площади поперечного сечения мышц бедра у молодых людей. После сравнения всех вариантов оказалось, что более существенные ошибки связаны с непосредственными измерениями, а не с оборудованием [8].

Площадь поперечного сечения мышцы, выпрямляющей позвоночник, в молодом возрасте составляет в среднем 1 395–1 468 мм², в старшем колеблется от 1 450 до 1 542 мм² [10, 14].

J. A. Hides и соавт. [18] исследовали влияние длительного постельного режима на площадь поперечного сечения паравертебральных мышц и мышц живота [18]. Обследовали 10 здоровых мужчин до, в течение и после 8 недель постельного режима. Площадь поперечного сечения *m. multifidus* уменьшилась после 14-го дня постельного режима. *M. erector spinae* и *m. quadratus lumborum* за это время не изменились, а *m. rectus abdominis*, *m. obliquus externus abdominis*, *m. rectus abdominis*, *m. psoas* увеличились. *M. psoas* увеличилась после 14-го дня и оставалась такой до 56-го, в то время как *m. obliquus externus abdominis* и *m. rectus abdominis* не изменились. По завершении этапа постельного режима *m. multifidus*, *m. obliquus externus abdominis* и *m. rectus abdominis* вернулись к исходному уровню после 4-го дня наблюдения, в то время как *m. psoas* только после 28-го. Исследователи сделали вывод о селективной гипотрофии многораздельной мышцы в результате постельного режима. Изменения паравертебральных мышц сопровождались развитием болевого синдрома в области поясничного отдела позвоночника. Подобные нарушения определяли при болях в пояснице [6, 14, 26], т. е. мышечная гиподинамия и гипотрофия могут являться первичным этиологическим фактором болей в спине, с чем соглашаются многие исследователи-клиницисты [19]. Некоторые мышцы, такие как короткие и длинные околопозвоночные, *m. psoas* и *m. quadratus lumborum* играют важную роль в стабилизации и движениях позвоночника [19] и потенциально связаны с развитием и прогрессированием остеохондроза.

Большинство исследований относится к связи хронической или острой поясничной боли с площадью поперечного сечения паравертебральных мышц [7, 8, 20–28].

J. A. Hides и соавт. [23] определили отсутствие атрофии мышц у пациентов с острой поясничной болью, объясняя это быстротой развития заболевания. Однако в результате исследований на животных при экспериментальном повреждении межпозвоночного диска обнаружена быстроразвивающаяся атрофия мышц [29]. Кроме того, изменения локализовались на уровне повреждения и сочетались со скорым развитием изменений во внутримышечном жире.

Опубликованы данные, свидетельствующие, что объем паравертебральных мышц снижен у пациентов с хронической поясничной болью [6, 14,

26, 30–32] по сравнению со здоровыми лицами того же возраста, однако подобные изменения могут встречаться у 10 % здоровых лиц [24], т. е. степень изменений мышц не обязательно связана с клиническими симптомами [11]. Müzeyyen Kamaz и соавт. [9] исследовали 36 пациентов с хронической поясничной болью и 34 здоровых добровольца и установили, что площадь поперечного сечения *mm. multifidus*, *psoas* и *quadratus lumborum* у пациентов с хронической поясничной болью достоверно меньше. Степень гипотрофии в различных мышцах проявлялась в разной степени и максимально определялась в *m. multifidus*.

Сообщалось об уменьшении размера *m. multifidus* при острой поясничной боли [23]. Исследования на животных показали быстрое изменение площади поперечного сечения *m. multifidus* при повреждении межпозвоночного диска [29].

По данным научной литературы, у 73 % здоровых лиц имеется относительная симметрия паравертебральных мышц. Исследователи обнаружили уменьшение площади поперечного сечения поясничной мышцы при грыже межпозвоночного диска поясничного отдела позвоночника, более выраженное со стороны компрессионно-корешкового синдрома. Уменьшение площади поперечного сечения положительно коррелировало с продолжительностью компрессионно-корешкового синдрома [33]. У пациентов с хронической поясничной болью отмечено уменьшение мышечной силы и значительная гипотрофия мышц по сравнению со здоровыми лицами.

W. G. Ondo и H. A. Naykal [34] выявили гипотрофию и асимметрию всех паравертебральных мышц у пациентов с болезнью Паркинсона. Асимметрию, более выраженную в *mm. quadratus*, *multifidus*, *longissimus* и *ileocostalis*, авторы связывают с постуральными нарушениями. Гипотрофия мышц сопровождалась жировой дистрофией.

Площадь поперечного сечения паравертебральных мышц у пациентов с односторонней поясничной болью и моносегментарной дегенерацией диска, которая сопровождается (или нет) односторонним корешковым синдромом, исследовали A. Ploumis и соавт. [35]. Максимальная односторонняя гипотрофия мышц вне зависимости от уровня составила 13,1 % для многораздельной мышцы, 21,8 % для мышцы, выпрямляющей позвоночник, 24,8 % для квадратной мышцы поясницы и 17,1 % для поясничной мышцы. Тем не менее, не обнаружено никакой статистически значимой корреляции между временем течения симптомов (в среднем 15,5 мес.) и гипотрофией.

Встречаются также сведения о различных вариантах соотношений площади поперечного сечения передних паравертебральных мышц (*m. psoas*) к задним (*m. multifidus*, *m. erector spinae* и *m. quadratus lumborum*) от их симметричной величины до преобладания первых над вторыми или наоборот [14]. Показано, что увеличение силы мышц и площади их поперечного сечения происходит в результате выполнения различных программ физических упражнений [36, 37].

Компьютерная томография позволяет также дифференцировать различные ткани на основе степени поглощения ими рентгеновских лучей. Коэффициенты ослабления рентгеновского излучения (*m*) выражают не в абсолютных величинах, а в относительных числах, нормированных по отношению к *m* воды. Они называются КТ-числами (CT numbers) или единицами Хаунсфилда (Hounsfield units, HU). Число Хаунсфилда для воды составляет 0 HU [38–40].

В современных аппаратах диапазон чисел Хаунсфилда достигает 4 096 HU. Это означает, что с помощью КТ теоретически возможно определить анатомические структуры, различающиеся по степени поглощения рентгеновского излучения, согласно исследованиям И. Е. Тюрина [40], на 0,024 %, по исследованиям Р. И. Габуния [38] — до 0,5 %.

По некоторым данным, КТ-плотность менее –150 HU характерна для газа, КТ-плотность жировой ткани составляет приблизительно (–100 ± 20) HU, мягких тканей — 20–50 HU, смешанных — приблизительно –15 HU [39]. По мнению других авторов, степень ослабления для жировой ткани составляет от –30 до –120 HU, для мягких — от 30 до 70 HU. Коэффициенты ослабления костной ткани обычно превышают +100 HU и могут достигать +2 000...+4 000 HU [40].

По данным Л. Kalichman и соавт. [13], средняя величина КТ-плотности для *m. multifidus* у мужчин составила (64,8 ± 11,5) HU, у женщин (57,12 ± 9,98) HU, для *m. erector spinae* (56,84 ± 11,54) HU и (52,55 ± 7,41) HU соответственно.

Согласно данным З. Ш. Нуриева [14], максимальная плотность *m. erector spinae* у здоровых мужчин была равна 110–111 HU, у женщин — 100–106 HU, средняя плотность соответственно от 50 до 52 HU и от 76 до 82 HU. Минимальная плотность колебалась в пределах от –76 до –92 HU у мужчин и от –93 до –97 HU у женщин. Многораздельная мышца имела максимальную плотность у мужчин от 111 до 113 HU, у женщин — от 103 до 112 HU. Средняя плотность у мужчин составляла от 52 до

56 HU, у женщин — от 45 до 49 HU, минимальная у мужчин — от –52 до –56 HU и у женщин от –73 до –78 HU. Максимальная плотность подвздошно-поясничной мышцы у мужчин варьирует от 117 до 118 HU, у женщин от 102 до 105 HU, средняя плотность у мужчин — 55–58 HU, у женщин — 48–53 HU, минимальная соответственно от –66 до –68 HU и от –73 до –92 HU. Максимальная плотность квадратной мышцы поясницы у мужчин была в пределах 99–103 HU, у женщин — от 88 до 92 HU, средняя плотность у мужчин — от 47 до 50 HU и у женщин — от 48 до 49 HU, минимальная соответственно от –67 до –76 HU и от –49 до –60 HU [14].

Дегенеративные изменения мышечной ткани сопровождаются изменением ее рентгеноплотности [41]. Мышечная плотность выражает степень дегенерации мышцы, отражает количество мышечных волокон, площадь отдельных из них, а также упаковку сократительного материала [41], в то время как площадь поперечного сечения в основном определяется количеством мышечных волокон и в меньшей степени их размером [42].

Мы обнаружили только две публикации, касающиеся КТ-оценки половых различий плотности паравертебральных мышц [3, 13], и две о возрастных изменениях [13, 43]. Л. Kalichman и соавт. [13] выполнили исследование КТ-плотности *m. multifidus* и *m. erector spinae* в связи с возрастом, полом, и индексом массы тела. Учитывали также наличие и степень сужения межтелового промежутка, спондилоартроза, спондилолиза, спондилолистеза и стеноза позвоночного канала. В результате установлено, что мужчины имеют более высокую плотность мышц, чем женщины, у молодых мышцы плотнее, чем у людей старшего возраста, у худых плотнее, чем у полных. Авторы определили статистически значимую связь между спондилоартрозом и плотностью *m. multifidus* и *m. erector spinae*. Определена также значимая связь между плотностью *m. erector spinae* и уменьшением межтелового промежутка, плотностью *m. multifidus* и спондилолистезом [13].

Связь хронической позвоночной боли с КТ-плотностью поясничных мышц установлена в результате многих исследований [6, 8, 22, 24, 45, 46]. G. Hultman и соавт. [24] опубликовали данные КТ-исследования, свидетельствующие о значительном уменьшении плотности *m. erector spinae* у пациентов с хронической люмбагией (более 3 лет) по сравнению со здоровыми лицами.

Г. Е. Hicks и соавт. [22] на основе результатов большого популяционного исследования определили, что уменьшение мышечной плотности связано

с выраженным стойким болевым синдромом, протекающим в течение года. При равной площади поперечного сечения мышц их рентгеноплотность может быть различной и в большей степени зависит от физических упражнений.

В результате исследования L. Kalichman и соавт. [13] установили отрицательную корреляцию между плотностью паравертебральных мышц и индексом массы тела, подобная отрицательная корреляция определена в исследовании D. E. Kelley и соавт. [47] между плотностью мышечной ткани в области середины бедра и индексом массы тела.

Дегенеративные изменения паравертебральных мышц определяются на уровне $L_{IV}-L_V$ в большей степени, чем на вышележащих [7]. Хотя различий в степени дегенеративных изменений в зависимости от уровня $L_{III}-L_{IV}$, $L_{IV}-L_V$, L_V-S_1 не обнаружено [45, 48].

Еще один способ исследования паравертебральных мышц — гистографический анализ, который является довольно эффективным методом оценки степени дегенеративных изменений в них. L. A. Danneels и соавт. [7] использовали для анализа паравертебральных мышц, в частности содержания в них жировой ткани, гистографический метод с помощью компьютерной томографии. Несмотря на общепринятое мнение о приоритете магнитно-резонансной томографии для оценки мягких тканей, современная компьютерная томография дает возможность также достаточно точно их оценить. Для этого используют псевдоцветную технику, позволяющую определять количественное содержание в мышцах жировой ткани. Жировая ткань производит более яркое свечение в пикселях и окрашена в красный цвет, ее процентное содержание в мышцах представляют в виде гистограммы. В этом исследовании в среднем количество жира составило 41 и 16 % у пациентов и лиц контрольной группы соответственно. У больных установили замещение около 25 % мышечной ткани жировой.

В научных публикациях обнаружены попытки сравнения результатов хирургического лечения дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника с результатами лечения при помощи физических упражнений [45, 48]. Некоторые авторы доказывают преимущество спондилодеза в лечении хронической поясничной боли при сравнении с лечебной физкультурой [48], другие, наоборот, отдают приоритет физическим упражнениям как методу лечения хронической поясничной боли [49, 50].

A. Keller и соавт. [45] определили значительные различия паравертебральных мышц у пациентов со спондилодезом и у тех, которым рекомендовали

упражнения и применяли когнитивное вмешательство. Плотность на уровне $L_{III}-L_{IV}$ значительно уменьшилась в группе пациентов со спондилодезом, но осталась неизменной у выполнявших упражнения. Площадь поперечного сечения на двух исследуемых уровнях не изменялась в обеих группах. Отсутствовала корреляция между изменениями мышечной силы и их морфологией.

E. M. Laasonen [46] более чем два десятилетия назад описал КТ-признаки уменьшения плотности пояснично-крестцовых мышц после хирургического лечения: в результате спондилодеза уменьшается сила мышц и их атрофия.

Исследовали потенциал развития послеоперационной атрофии мышц у пациентов, перенесших микродискэктомию или чрескожную нуклеотомию при поясничных грыжах межпозвонковых дисков. Площадь поперечного сечения паравертебральных мышц измеряли в день, предшествующий операции, и через 6 мес. после операции. Сечение поясничных мышц оставалось неизменным в течение периода наблюдения у всех пациентов, указывая на отсутствие атрофии мышц в зоне операции. Авторы сделали вывод о корреляции интраоперационной травмы тканей с последующей их гипотрофией вследствие денервации [51].

Положительная корреляция была отмечена между степенью гипотрофии и временем операции из заднего доступа, особенно при операциях без спондилодеза. На основе чего был сделан вывод, что сокращение времени операции может свести к минимуму травму мышц спины [13, 52].

Связь между спондилодезом, слабостью и атрофией паравертебральных мышц недостаточно изучена. Существует гипотеза о том, что спондилодез приводит к мышечной атрофии из-за вторичной денервации мышц вследствие хирургической травмы и/или отсутствия движений оперированного сегмента [53].

Таким образом, исследования паравертебральных мышц в основном касаются пациентов с люмбагией. Относительно состояния паравертебральных мышц при различных нозологических вариантах течения остеохондроза поясничного отдела позвоночника встречаются лишь единичные публикации. Мало информации о патогенезе дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника с позиции патологических изменений паравертебральных мышц. Недостаточно исследовано влияние различных вариантов хирургического лечения дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника на состояние паравертебральных мышц, а также отсутствует информация о влиянии

исходного состояния мышц на результаты хирургического лечения. Трофические изменения в мышцах, развивающиеся в результате спондилодеза, явны, но причины их развития недостаточно изучены. Поэтому для ответов на эти и многие другие вопросы требуются дальнейшие исследования.

Список литературы

- Demoulin C. Spinal muscle evaluation in healthy individuals and low-back-pain patients: a literature review / C. Demoulin, J. M. Crielaard, M. Vanderthommen // *Joint Bone Spine*. — 2007. — Vol. 74. — P. 9–13.
- MacDonald D. A The lumbar multifidus: does the evidence support clinical beliefs? / D. A. MacDonald, G. L. Moseley, P. W. Hodges // *Man Ther*. — 2006. — Vol. 11. — P. 254–263.
- Computed tomography of the human skeletal muscular system / J. A. Bulcke, J. L. Termote, Y. Palmers, D. Crolla // *Neuroradiology*. — 1979. — Vol. 17. — P. 127–136.
- Haggmark T. Cross-sectional area of the thigh muscle in man measured by computed tomography / T. Haggmark, E. Jansson, B. Svane // *Scand. J. Clin. Lab. Invest*. — 1978. — Vol. 38. — P. 355–360.
- Maughan R. J. Muscle strength and cross-sectional area in man: a comparison of strength-trained and untrained subjects / R. J. Maughan, J. S. Watson, J. Weir // *Br. J. Sports Med*. — 1984. — Vol. 18. — P. 149–157.
- Comparison of CT scan muscle measurements and isokinetic trunk strength in postoperative patients / T. G. Mayer, H. Vanharanta, R. J. Gatchel et al. // *Spine*. — 1989. — Vol. 14. — P. 33–36.
- CT imaging of trunk muscles in chronic low back pain patients and healthy control subject / L. A. Danneels, G. G. Vanderstraeten, D. C. Cambier et al. // *Eur. Spine J*. — 2000. — Vol. 9. — P. 266–272.
- Reliability of Computed Tomography Measurements of Paraspinal Muscle Cross-Sectional Area and Density in Patients With Chronic Low Back Pain / A. Keller, R. Gunderson, O. Reikerås et al. // *Spine*. — 2003. — Vol. 28, № 13. — P. 1455–1460.
- CT measurement of trunk muscle areas in patients with chronic low back pain / Müzeyyen Kamaz, Demet Kireşi, Hasan Oğuz et al. // *Diagn Interv Radiol*. — 2007. — Vol. 13. — P. 144–148.
- Grimby G. The ageing muscle / G. Grimby, B. Saltin // *Clin. Physiol*. — 1983. — Vol. 3. — P. 209–218.
- Influence of age and duration of symptoms on fibre type distribution and size of the back muscles in chronic low back pain patients / A. Mannion, L. Kæser, E. Weber et al. // *Eur. Spine J*. — 2000. — Vol. 9. — P. 273–281.
- Parkkola R. Lumbar disc and back muscle degeneration on MRI: correlation to age and body mass / R. Parkkola, M. Kormano // *J. Spinal Disord*. — 1992. — Vol. 5. — P. 86–92.
- Changes in paraspinal muscles and their association with low back pain and spinal degeneration: CT study / L. Kalichman, P. Hodges et al. // *Eur. Spine J*. — 2010. — Vol. 19. — P. 1136–1144.
- Нуриев З. Ш. Рентгеноанатомия и рентгенопатоморфология паравертебральных мышц у здоровых и больных вертеброгенной люмбагией / З. Ш. Нуриев, М. К. Михайлов, М. А. Подольская // *Казанский медицинский журнал*. — 2004. — № 4.
- The use of magnetic resonance images to investigate the influence of recruitment on the relationship between torque and cross-sectional area in human muscle / H. Akima, S. Kuno, H. Takahashi et al. // *Eur. J. Appl. Physiol*. — 2000. — № 83. — P. 475–480.
- Fat content of lumbar extensor muscles and low back disability: a radiographic and clinical comparison / H. Alaranta, K. Tallroth, A. Soukka et al. // *J. Spinal Disord*. — 1993. — Vol. 6. — P. 137–140.
- Maughan R. J. Relationships between muscle strength and muscle cross-sectional area in male sprinters and endurance runners / R. J. Maughan, J. S. Watson, J. Weir // *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol*. — 1983. — Vol. 50. — P. 309–318.
- Magnetic resonance imaging assessment of trunk muscles during prolonged bed rest / J. A. Hides, D. L. Belavý, W. Stanton et al. // *Spine*. — 2007. — Vol. 32 (15). — P. 1687–1692.
- Crisco J. J. 3rd The intersegmental and multisegmental muscles of the lumbar spine. A biomechanical model comparing lateral stabilizing potential / J. J. Crisco 3rd, M. M. Panjabi // *Spine*. — 1991. — Vol. 16. — P. 793–799.
- Barker K. L. Changes in the cross-sectional area of multifidus and psoas in patients with unilateral back pain: the relationship to pain and disability / K. L. Barker, D. R. Shamley, D. Jackson // *Spine*. — 2004. — Vol. 29. — P. 515–519.
- The association of trunk muscle cross-sectional area and magnetic resonance image parameters with isokinetic and psychophysical lifting strength and static back muscle endurance in men / L. E. Gibbons, P. Latikka, T. Videman et al. // *J. Spinal Disord*. — 1997. — Vol. 10. — P. 398–403.
- Cross-sectional associations between trunk muscle composition, back pain, and physical function in the health, aging and body composition study / G. E. Hicks, E. M. Simonsick, T. B. Harris et al. // *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci*. — 2005. — Vol. 60. — P. 882–887.
- Hides J. A. Evidence of lumbar multifidus muscle wasting ipsilateral to symptoms in patients with acute/subacute low back pain / J. A. Hides, M. J. Stokes, M. Saide // *Spine*. — 1994. — Vol. 19. — P. 165–172.
- Body composition, endurance, strength, cross-sectional area, and density of MM erector spinae in men with and without low back pain / G. Hultman, M. Nordin, H. Saraste, H. Ohlson // *J. Spinal Disord*. — 1999. — Vol. 36. — P. 114–123.
- The significance of fat and muscle areas in the lumbar paraspinal space: a CT study / R. F. McLoughlin, E. M. D'Arcy, M. M. Brittain et al. // *J. Comput Assist Tomogr*. — 1994. — Vol. 18. — P. 275–278.
- Parkkola R. Magnetic resonance imaging of the discs and trunk muscles in patients with chronic low back pain and healthy control subjects / R. Parkkola, U. Rytokoski, M. Kormano // *Spine*. — 1993. — Vol. 18. — P. 830–836.
- Back extensor and psoas muscle cross-sectional area, prior physical training, and trunk muscle strength—a longitudinal study in adolescent girls / J. E. Peltonen, S. Taimela, M. Erkinntalo et al. // *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol*. — 1998. — Vol. 77. — P. 66–71.
- The effect of comprehensive group training on cross-sectional area, density, and strength of paraspinal muscles in patients sick-listed for subacute low back pain / K. Storheim, I. Holm, R. Gunderson et al. // *J. Spinal Disord. Tech*. — 2003. — Vol. 16. — P. 271–279.
- Rapid atrophy of the lumbar multifidus follows experimental disc or nerve root injury / P. Hodges, A. K. Holm, T. Hansson, S. Holm // *Spine*. — 2006. — Vol. 31. — P. 2926–2933.
- Cooper R. G. Radiographic demonstration of paraspinal muscle wasting in patients with chronic low back pain / R. G. Cooper, W. St Clair Forbes, M. I. Jayson // *Br. J. Rheumatol*. — 1992. — Vol. 31. — P. 389–394.
- Effects of three different training modalities on the cross sectional area of the lumbar multifidus muscle in patients with chronic low back pain / L. A. Danneels, G. G. Vanderstraeten, D. C. Cambier et al. // *Br. J. Sports Med*. — 2001. — Vol. 35. — P. 186–191.
- Local denervation atrophy of paraspinal muscles in postopera-

- tive failed back syndrome / T. Sihvonen, A. Herno, L. Paljarvi et al. // *Spine*. — 1993. — Vol. 18. — P. 575–581.
33. Dangaria Trikam R. Changes in cross-sectional area of psoas major muscle in unilateral sciatica caused by disc herniation / Dangaria Trikam R., Naesh Ole // *Spine*. — 1998. — Vol. 23, № 8. — P. 928–931.
 34. Ondo W. G. Paraspinal Muscle Asymmetry in Parkinson's Disease / W. G. Ondo, H. A. Haykal // *Int. J. Neurosci.* — 2013. — Vol. 18. — P. 332–339.
 35. Ipsilateral atrophy of paraspinal and psoas muscle in unilateral back pain patients with monosegmental degenerative disc disease / A. Ploumis, N. Michailidis, P. Christodoulou et al. // *Br. J. Radiol.* — 2011. — Vol. 84 (1004). — P. 709–713.
 36. Active therapy for chronic low back pain: Part 1. Effects on back muscle activation, fatigability, and strength / A. F. Mannion, S. Taimela, M. Muntener et al. // *Spine*. — 2001. — Vol. 26. — P. 897–908.
 37. Evaluation of specific stabilizing exercise in the treatment of chronic low back pain with radiologic diagnosis of spondylolysis or spondylolisthesis / P. B. O'Sullivan, G. D. Phytz, L. T. Twomey, G. T. Allison // *Spine*. — 1997. — Vol. 22. — P. 2959–2967.
 38. Габуня Р. И. Клиническая рентгенорадиология (руководство в пяти томах) / Р. И. Габуня, Г. А. Зубовский // Радионуклидная диагностика. Компьютерная томография / Под ред. Г. А. Зедгенидзе. — М.: Медицина, 1985. — Т. 4. — 368 с.
 39. Прокоп М. Спиральная и многослойная компьютерная томография: Учебное пособие: В 2 т. / Матиас Прокоп, Михаэль Галански; пер. с англ.; под ред. А. В. Зубарева, Ш. Ш. Шотемора. — М.: МЕДпресс-информ, 2006. — Т. 1. — 416 с.
 40. Тюрин И. Е. Компьютерная томография органов грудной полости / И. Е. Тюрин. — СПб.: ЭЛБИ-СПб., 2003. — 371 с.
 41. Jones D. A. Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training / D. A. Jones, O. M. Rutherford, D. F. Parker // *Q. J. Exp. Physiol.* — 1989. — Vol. 74. — P. 233–256.
 42. Lexell J. Human aging, muscle mass, and fiber type composition / J. Lexell // *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* — 1995. — Vol. 50, Spec. No. — P. 11–16.
 43. Computed tomography of the normal and pathologic muscular system / J. L. Termote, A. Baert, D. Crolla et al. // *Radiology*. — 1980. — Vol. 137. — P. 439–444.
 44. Trunk muscle composition as a predictor of reduced functional capacity in the health, aging and body composition study: the moderating role of back pain / G. E. Hicks, E. M. Simonsick, T. B. Harris et al. // *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* — 2005. — Vol. 60. — P. 1420–1424.
 45. Trunk muscle strength, cross-sectional area, and density in patients with chronic low back pain randomized to lumbar fusion or cognitive intervention and exercises / A. Keller, J. I. Brox, R. Gunderson et al. // *Spine*. — 2004. — Vol. 29. — P. 3–8.
 46. Laasonen E. M. Atrophy of sacrospinal muscle groups in patients with chronic, diffusely radiating lumbar back pain / E. M. Laasonen // *Neuroradiology*. — 1984. — Vol. 26. — P. 9–13.
 47. Kelley D. E. Skeletal muscle density: effects of obesity and non-insulin-dependent diabetes mellitus / D. E. Kelley, B. S. Slask, J. Janosky // *Am. J. Clin. Nutr.* — 1991. — Vol. 54. — P. 509–515.
 48. Volvo award winner in clinical studies. Lumbar fusion versus nonsurgical treatment for chronic low back pain: a multicenter randomized controlled trial from the Swedish Lumbar Spine Study Group / P. Fritzell, O. Hagg, P. Wessberg et al. // *Spine*. — 2001. — Vol. 26. — P. 2521–2532.
 49. Albright J. Philadelphia Panel evidence-based clinical practice guidelines on selected rehabilitation interventions for low back pain / J. Albright // *Phys. Ther.* — 2001. — Vol. 81. — P. 1641–1674.
 50. Exercise therapy for low back pain: a systematic review within the framework of the Cochrane collaboration back review group / M. van Tulder, A. Malmivaara, R. Esmail et al. // *Spine*. — 2000. — Vol. 25. — P. 2784–2796.
 51. Cross-sectional areas of lumbar muscles after surgical treatment of lumbar disc herniation. A study with magnetic resonance imaging after microdiscectomy or percutaneous nucleotomy / E. Kotilainen, A. Alanen, R. Parkkola et al. // *Acta Neurochir.* — 1995. — Vol. 133 (1–2). — P. 7–12.
 52. Postoperative change of the cross-sectional area of back musculature after 5 surgical procedures as assessed by magnetic resonance imaging motosuneya, takao / Asazuma Takashi; Tsuji Takashi; Watanabe Hironobu et al. // *J. Spinal Disorders & Techniques*. — 2006. — Vol. 19, Issue 5. — P. 318–322.
 53. Histologic and electrophysiological changes of the paraspinal muscle after spinal fusion. an experimental study / Yong Hu, H. B. Leung, William W. Lu, Keith D. K. Luk // *Spine*. — 2008. — Vol. 33, № 13. — P. 1418–1422.