

П.В. Кондрашкин<sup>1,2</sup>,  
Д.З. Шибкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГБУЗ Челябинская областная  
клиническая больница,  
Челябинск, Россия;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Южно-Уральский  
государственный гуманитарно-  
педагогический университет,  
Челябинск, Россия

Контакты:  
Кондрашкин Петр Владимирович;  
*kpv\_mino@mail.ru*

Исследование посвящено  
изучению вариабельности  
индивидуальной болевой  
чувствительности. С помо-  
щью тензоалгометра изучали  
воспроизводимость значений  
индивидуального болевого по-  
рога (БП) в паравертебральных  
точках спины и трапециевид-  
ной мышцы у здоровых добро-  
вольцев обоего пола в возрасте  
19–20 лет на протяжении  
2 мес. Было показано, что  
индивидуальные значения БП  
в течение этого времени харак-  
теризуются значительной ва-  
риабельностью, которая, одна-  
ко, почти в два раза ниже, чем  
межиндивидуальная вариабель-  
ность. Границы стандартного  
отклонения для единичного  
измерения БП несколько больше  
у женщин, чем у мужчин.

DOI: 10.25731/RASP.2018.03.013

# СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДОЛГОСРОЧНОЙ ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ЗНАЧЕНИЙ БОЛЕВОГО ПОРОГА В ПАРАВЕРТЕБРАЛЬНЫХ ТОЧКАХ ЧЕЛОВЕКА

*Ключевые слова:*

тензоалгометрия, болевой порог, паравертебральные точки, статистический анализ.

Данные количественной оценки индивидуального болевого порога (БП) с помощью метода тензоалгометрии [1] используются для изучения различных аспектов болевых синдромов [2–5], а также при контроле реабилитационных мероприятий в динамике [6]. Особый интерес в этой связи представляют паравертебральные точки, которые являются триггерными при различных отклонениях в состоянии позвоночно-двигательных сегментов. Длительность реабилитационных мероприятий может составлять недели и месяцы, поэтому важно знать, насколько в норме устойчив показатель БП. Как было показано нами ранее [6, 7], значения БП в паравертебральных точках и трапециевидной мышце зависят от состояния позвоночно-двигательных сегментов, меняются под воздействием рефлекторно-сегментарного массажа, а также зависят от наличия стресс-факторов. Цель исследования – статистически охарактеризовать долгосрочную воспроизводимость значений болевого порога в паравертебральных точках у одних и тех же лиц в течение двух месяцев.

## Материалы и методы исследования

Изучение БП проводили на базе лаборатории «Адаптации биологических систем к естественным и экстремальным факторам среды» Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета. В исследовании участвовали 16 студентов-добровольцев обоего пола (9 женщин, 7 мужчин) в возрасте 19–20 лет, 1–2-й групп здоровья. Все испытуемые дали письменное согласие на проведение исследования и были ознакомлены с его содержанием. Перед началом обследования проводилось стандартное измерение антропометрических характеристик (длина и масса тела, индекс массы тела). Исследования проводили в период с февраля по апрель 2017 г., все манипуляции проводились в первой половине дня.

Измерение болевой чувствительности проводилось с помощью тензоалгометра Wagner FPXtm (USA) в единицах кг/см<sup>2</sup> одним иссле-

## Анализ воспроизводимости значений болевого порога

дователем. Индивидуальный болевой порог (БП) определяли стандартно, как минимальное давление прибора, которое пациент воспринимал как болезненное. БП определяли в парных (левая, правая) паравертебральных точках: на уровне второго-третьего поясничного позвонка ( $L_{II-L_{III}}$ ), девято-го-десятого грудного позвонка ( $D_{IX-D_{X}}$ ), на уровне седьмого шейного и первого грудного  $C_{VII}-D_1$ ; а также парно на трапециевидной мышце в верхней части (m. Trapezius, далее точка Tr). БП определяли во всех 8 выбранных точках у каждого испытуемого однократно 1 раз в 1–2 нед в течение 2-х мес, каждый испытуемый был обследован 3–5 раз.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью лицензионных программ Microsoft Excel и SigmaPlot-11 на персональном компьютере. В качестве среднегрупповых значений БП использовали среднее геометрическое значение, поскольку ранее было показано, что значения БП в группах испытуемых распределены логнормально [6]. Статистическую значимость различий БП определяли с помощью t-критерия Стьюдента для логарифмов значений БП при  $p<0,05$ . Для оценки вариабельности использовали регрессионный и дисперсионный анализы [8], а также базирующиеся на них подходы к анализу повторных измерений с оценкой кластерных средних и остатков [9]. Более подробно статистический анализ повторных измерений описан ниже в разделе результаты.

Серия исследований по изучению вариабельности индивидуальной болевой чувствительности была одобрена на заседании кафедры анатомии и физиологии человека и животных ЧГПУ, включая этическую сторону исследований (протокол № 4 от 11.12.2014 г.), продолжение исследований было одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВПО «ЮУрГГПУ» (протокол № 1 от 15 июня 2016 г.).

## Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены характеристики обследованной группы. Как видно, индекс массы тела у мужчин и женщин соответствовал норме.

## ТАБЛИЦА 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБСЛЕДОВАННЫХ ЛИЦ (СРЕДНЕЕ ± СТАНДАРТНОЕ ОТКЛОНение)

TABLE 1

CHARACTERISTICS OF THE EXAMINED PERSONS (MEAN ± STANDARD DEVIATION)

Пол	ВОЗРАСТ, ЛЕТ	ДЛИНА ТЕЛА, СМ	МАССА ТЕЛА, КГ	ИМТ
Женщины	20,1±1,2	163,8±6,3	57,8±8,8	21,4±2,1
Мужчины	20,0±0,9	178,3±9,3	68,9±10,6	21,8±3,4

На рис. 1 представлены средние геометрические значения БП для мужчин и женщин. Как видно, у мужчин БП выше, чем у женщин, однако значимые различия были обнаружены только для точек Tr и  $C_{VII}-D_1$  (трапециевидная мышца, шейный отдел). Для женщин значения БП в выбранных точках хорошо согласуются с ранее найденными величинами для здоровых лиц того же возраста [7].

Регрессионный анализ не выявил зависимости индивидуальных значений БП от даты измерения. На рис. 2 представлены примеры индивидуальных измерений БП; как видно, угол наклона линии ре-

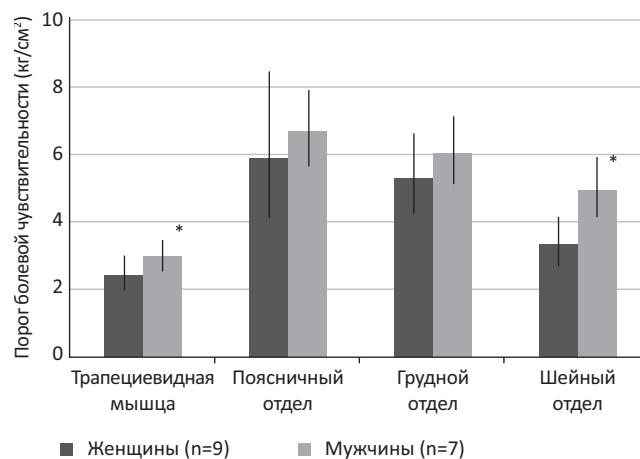


РИСУНОК 1

## ЗНАЧЕНИЯ БП В ПАРАВЕРТЕБРАЛЬНЫХ ТОЧКАХ

МУЖЧИН И ЖЕНЩИН, ДАННЫЕ ДЛЯ ЛЕВОЙ И ПРАВОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ БЫЛИ УСРЕДНЕНЫ. ПОКАЗАНЫ СРЕДНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗНАЧЕНИЯ И ГРАНИЦЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СТАНДАРТНОГО ОТКЛОНЕНИЯ. ЗВЕЗДОЧКОЙ ОТМЕЧЕНЫ СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫЕ ОТЛИЧИЯ МЕЖДУ МУЖЧИНАМИ И ЖЕНЩИНАМИ ( $P<0,05$ )

FIGURE 1

VALUES OF PAIN THRESHOLD IN PARAVERTEBRAL POINTS OF MEN AND WOMEN, DATA FOR LEFT AND RIGHT LOCALIZATION WERE AVERAGED. THE GEOMETRIC MEANS AND BOUNDARIES OF THE GEOMETRIC STANDARD DEVIATION ARE SHOWN. AN ASTERISK INDICATES STATISTICALLY SIGNIFICANT DIFFERENCES BETWEEN MEN AND WOMEN ( $P<0,05$ )

STATISTICAL ANALYSIS  
OF LONG-TERM REPRODUCIBILITY  
OF VALUES OF PAIN THRESHOLD  
IN THE PARAVERTEBRAL POINTS  
OF HUMAN

P.V. Kondrashkin<sup>1,2</sup>,  
D.Z. Shibkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Chelyabinsk Regional Clinical Hospital,  
Chelyabinsk, Russia;

<sup>2</sup>South Ural State Humanitarian  
Pedagogical University,  
Chelyabinsk, Russia

The study is devoted to the examination of the variability of individual pain sensitivity. The long-term reproducibility of individual pain threshold (PT) using pressure algometer in paravertebral points and trapezius muscles in healthy volunteers of both sexes at the age of 19–20 during 2 months were studied. It was shown that the individual PT values within two months are characterized by considerable variability, which, however, is almost two times lower than the inter-individual variability. The limits of the standard deviation for a single measurement of PT are somewhat greater in women than in men.

DOI: 10.25731/RASP.2018.03.013

**Keywords:**  
pressure algometry, pain threshold,  
paravertebral points, and statistical analysis.

**Contact:**  
P.V. Kondrashkin; kpv\_mino@mail.ru

грессии (коэффициент регрессии) был близок к нулю и статистически не значим.

При анализе долгосрочной воспроизводимости изучали натуральные логарифмы измеренных значений БП ( $\ln(\text{БП})=x_i$ ). Набор измерений каждого человека рассматривали как 8 отдельных кластеров (одна точка – один кластер,  $j$ ), всего 128 кластеров для 16 испытуемых, общее число измерений 448 (по 224 измерения для женщин и мужчин). Внутри каждого кластера определяли остатки ( $r_{ij}$ ), как разность между кластерным средним ( $X_j$ ) и единичным измерением ( $x_i$ ). Рис. 3 иллюстрирует распределения остатков ( $r_{ij}$ ) для мужчин и женщин. Распределения симметричны и описываются нормальным законом (тест Шапиро-Уилка). Согласно F-критерию, дисперсия в группе мужчин была ниже, чем у женщин (F-test;  $p=0,008$ ).

Регрессионный анализ не выявил связи между кластерными средними и остатками: для различных паравертебральных точек коэффициент регрессии варьировал от 0,02 до 0,03 при  $p>0,85$ . Согласно F-критерию, внутри однородных по полу групп дисперсии остатков по разным точкам не различались, поэтому все остатки были объединены для дальнейшего анализа в 2 группы в соответствие с полом.

Распределение остатков характеризует дисперсию индивидуальных значений  $x_i$  относительно кластерных средних  $X_j$ . Стандартное отклонение ( $\sigma_r$ ) вычисляли стандартно по формуле (1):

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_j)^2}{n}}, \quad (1)$$

где:

$n$ =число остатков ( $n=224$  для мужчин и 224 для женщин);

$x_i - X_j = r_{ij}$  величина остатка, то есть разность между кластерным средним кластера  $j$  и индивидуальным измерением  $i$  из этого кластера.

Было обнаружено, что для женщин  $\sigma_r=0,17$ , для мужчин =0,14. Таким образом, в течение двух месяцев значения  $x_i$  отклонялись на величину  $\pm\sigma_r$  от среднего значения  $X_j$ , характерного для конкретного человека. Если имеется единичное измерение БП, то с вероятностью 95% усредненное («истинное») значение  $\ln(\text{БП})$  попадет в интервал  $\ln(\text{БП}_{ind}) \pm 1,96 \cdot \sigma_r$ . После потенцирования получаем, что границы стандартного отклонения для единичного измерения БП ( $\text{кг}/\text{см}^2$ ) в выбранных точках спины определяются следующим образом:

для мужчин  $[\left(\frac{\text{БП}_{ind}}{1,15}\right) \div (\text{БП}_{ind} \times 1,15)]$ ;

для женщин  $[\left(\frac{\text{БП}_{ind}}{1,185}\right) \div (\text{БП}_{ind} \times 1,185)]$ .

Границы 95% доверительного интервала:

для мужчин  $[\left(\frac{\text{БП}_{ind}}{1,3}\right) \div (\text{БП}_{ind} \times 1,3)]$ ;

для женщин  $[\left(\frac{\text{БП}_{ind}}{1,4}\right) \div (\text{БП}_{ind} \times 1,4)]$ .

Для объединенных по полу данных границы стандартного отклонения индивидуального измерения БП можно найти по формуле:  $[(\frac{\text{БП}_{ind}}{1,17}) \div (\text{БП}_{ind} \times 1,17)]$ . То есть верхняя граница будет выше измеренной величины примерно на 17%, нижняя – ниже примерно на 14%.

## Анализ воспроизводимости значений болевого порога

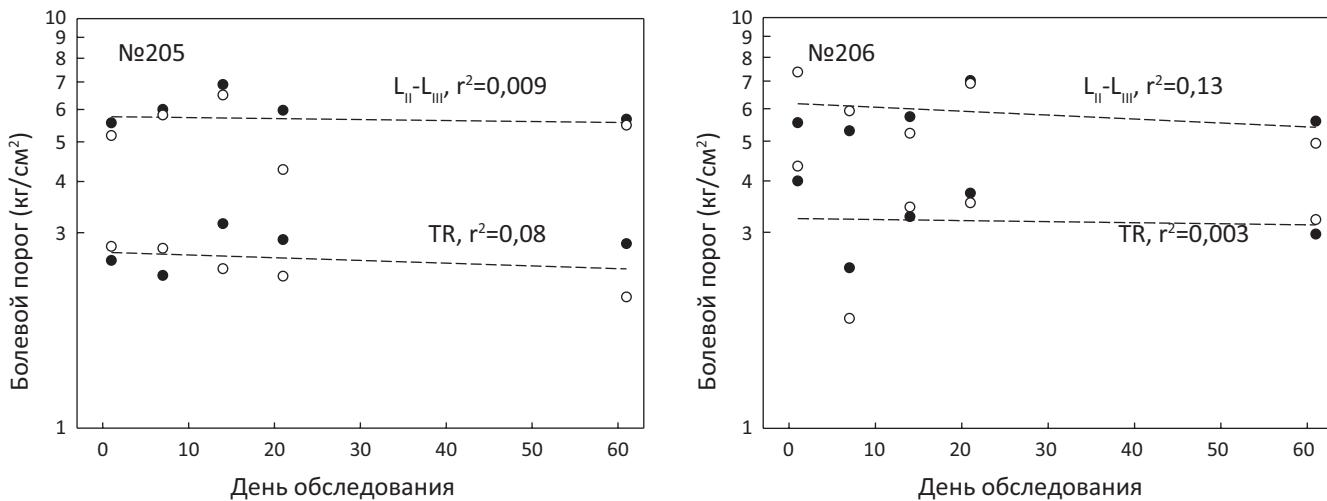


Рисунок 2

ПРИМЕРЫ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ДИНАМИКИ БП В ТОЧКАХ TR, L<sub>II</sub>-L<sub>III</sub> ДЛЯ ИСПЫТУЕМЫХ № 205, 206 (УНИКАЛЬНОЙ НОМЕР ПАЦИЕНТА В БАЗЕ ДАННЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ БП); ЧЕРНЫЕ КРУЖКИ ПОКАЗЫВАЮТ ЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ЛЕВОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ, БЕЛЫЕ – ДЛЯ ПРАВОЙ. ПУНКТИРНАЯ ЛИНИЯ – ЛИНИЯ РЕГРЕССИИ, R<sup>2</sup> – КОЭФФИЦИЕНТ ДЕТЕРМИНАЦИИ

FIGURE 2

EXAMPLES OF INDIVIDUAL DYNAMICS OF PAIN THRESHOLD IN TR, L<sub>II</sub>-L<sub>III</sub> POINTS FOR SUBJECTS № 205, 206 (UNIQUE PATIENT NUMBER IN THE DATABASE OF PAIN THRESHOLD EXAMINATIONS); BLACK CIRCLES SHOW VALUES FOR THE LEFT LOCALIZATION, WHITE – FOR THE RIGHT. DOTTED LINE-REGRESSION LINE, R<sup>2</sup> – DETERMINATION COEFFICIENT

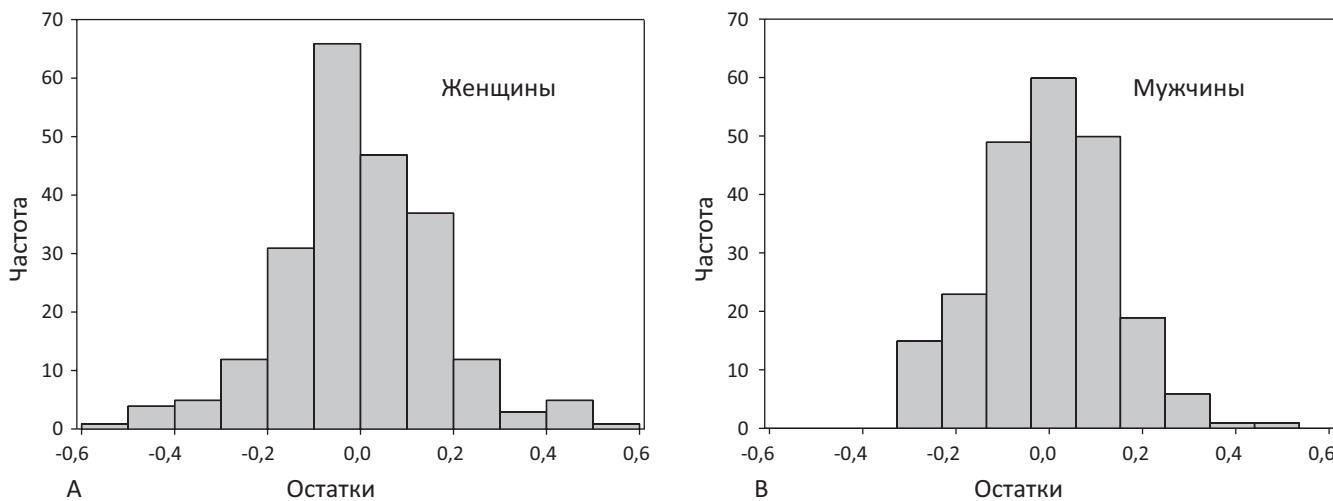


Рисунок 3

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТКОВ R<sub>ij</sub>, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ДИСПЕРСИЮ ПОВТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ БП X<sub>j</sub>,  
ОТНОСИТЕЛЬНО КЛАСТЕРНОГО СРЕДНЕГО X<sub>j</sub> ДЛЯ (А) ЖЕНЩИН И (В) МУЖЧИН

FIGURE 3

DISTRIBUTIONS OF R<sub>ij</sub> RESIDUES CHARACTERIZING THE VARIANCE OF REPEATED MEASUREMENTS OF PAIN THRESHOLD X<sub>j</sub>  
RELATIVE TO THE CLUSTER MEAN X<sub>j</sub> FOR (A) WOMEN AND (B) MEN

Полученные нами значения  $\sigma_r=0,17$  для женщин примерно в два раза ниже, чем величины стандартного отклонения, характеризующие межиндивидуальную вариабельность БП в группе здоровых девушек ( $\sigma=0,36$ ) [7]. У этих девушек БП измеряли однократно в тех же точках спины, что и в данном исследовании. Применение описанных выше простых вычислений показывают, что при измерении среднегрупповых значений БП (геометрических средних  $\text{БП}_{geomean}$ ) в конкретной паравертебральной точке, 95% измерений попадет в интервал  $[(\frac{\text{БП}_{geomean}}{2,0}) \div (\text{БП}_{geomean} \times 2,0)]$ , то есть границы 95% доверительного интервала будут отличаться в два раза от среднегрупповой величины.

Следует отметить, что вариабельность БП в различных точках тела может различаться. Паравертебральные точки в этом плане должны соответствовать точкам с наибольшей вариабельностью значений. Болевая чувствительность в этих точках связана с ноцицепторами, расположенными на разной глубине, в постуральных мышцах и фасциях, находящихся в постоянном напряжении различной интенсивности. Именно поэтому БП в паравертебральных точках меняется в процессе рефлекторно-сегментарного массажа [6], и в целом несколько

ниже справа, то есть на стороне ведущей руки [7]. Задачей будущих исследований является определение вариабельности индивидуального БП в других точках тела, не связанных с постуральными мышцами.

## Выводы

1. Впервые оценена долгосрочная воспроизведимость (2 месяца) значений БП у мужчин и женщин в паравертебральных точках и трапециевидной мышце, представляющих практический интерес при оценке эффективности реабилитационных мероприятий.
2. Индивидуальные значения БП в течение двух месяцев характеризуется значительной вариабельностью, которая, однако, почти в два раза ниже, чем межиндивидуальная вариабельность.
3. Границы стандартного отклонения для единичного измерения болевого порога несколько больше у женщин, чем у мужчин. В среднем границы определяются как  $[(\frac{\text{БП}_{ind}}{1,17}) \div (\text{БП}_{ind} \times 1,17)]$ . В качестве грубой оценки при практическом применении может быть использована величина отклонения около 17%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенко А.М. Тензоалгометрия. Доступно по: <http://www.painstudy.ru/matls/review/tenzo.htm> / Ссылка активна на 28.03.2016.
2. Binderup A.T., Arendt-Nielsen L., Madeleine P. Pressure pain sensitivity maps of the neck-shoulder and the low back regions in men and women. BMC Musculoskelet Disord. 2010; 11: 234. doi: 10.1186/1471-2474-11-234. PMID: 20939890.
3. Aboodarda S.J., Spence A.J., Button D.C. Pain pressure threshold of a muscle tender spot increases following local and non-local rolling massage. BMC Musculoskelet Disord. 2015; 16:265. PMID: 26416265; PMCID: PMC4587678; DOI: 10.1186/s12891-015-0729-5.
4. Schenk P., Laebli T., Klipstein A. Validity of pressure pain thresholds in female workers with and without recurrent low back pain. Eur Spine J. 2007; 16(2): 267–275. PMID: 16680447; PMCID: PMC2200678; DOI: 10.1007/s00586-006-0124-x.
5. Melia M., Schmidt M., Geissler B., et al. Measuring mechanical pain: the refinement and standardization of pressure pain threshold measurements. Behav Res Methods. 2015; 47(1): 216–227. PMID: 24570335; DOI: 10.3758/s13428-014-0453-3.
6. Кондрашкин П.В., Давыдова Е.В., Шибкова Д.З. Изменение индивидуального болевого порога в паравертебральных точках в процессе реабилитации у лиц
1. Vasilenko A.M. [Pressure algometry]: <http://www.painstudy.ru/matls/review/tenzo.htm> / Link is active on 28.03.2016.
2. Binderup A.T., Arendt-Nielsen L., Madeleine P. Pressure pain sensitivity maps of the neck-shoulder and the low back regions in men and women. BMC Musculoskelet Disord. 2010; 11: 234. doi: 10.1186/1471-2474-11-234. PMID: 20939890.
3. Aboodarda S.J., Spence A.J., Button D.C. Pain pressure threshold of a muscle tender spot increases following local and non-local rolling massage. BMC Musculoskelet Disord. 2015; 16: 265. PMID: 26416265; PMCID: PMC4587678; DOI: 10.1186/s12891-015-0729-5.
4. Schenk P., Laebli T., Klipstein A. Validity of pressure pain thresholds in female workers with and without recurrent low back pain. Eur Spine J. 2007; 16(2): 267–275. PMID: 16680447; PMCID: PMC2200678; DOI: 10.1007/s00586-006-0124-x.
5. Melia M., Schmidt M., Geissler B., et al. Measuring mechanical pain: the refinement and standardization of pressure pain threshold measurements. Behav Res Methods. 2015; 47(1): 216–227. PMID: 24570335; DOI: 10.3758/s13428-014-0453-3.
6. Kondrashkin P.V., Davydova E.V., Shibkova D.Z. [Changes in individual pain threshold in the paravertebral points during the rehabilitation of persons with abnormal-

## REFERENCES

**Анализ воспроизводимости значений болевого порога**

- с отклонениями состояния позвоночно-двигательных сегментов. Российский журнал боли. 2017; 2(53): 31–38.
7. Кондрашкин П.В., Шибкова Д.З., Толстых Е.И. Характеристика нормальных значений болевого порога у девушек в области спины, полученных методом тензоалгометрии в различных условиях. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры 2017; 1: 26–31. doi: 10.17116/kurort201794126-31.
8. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2006.
9. Kozheurov V.P., Zalyapin V.I., Shagina N.B., et al. Evaluation of uncertainties in <sup>90</sup>Sr-body-burdens obtained by whole-body count: application of Bayes' rule to derive detection limits by analysis of a posteriori data. Appl Radiat Isot. 2002; 57(4): 525–35. PMID: 12361332.

- ties in spinal motion segments]. Rossijskij zhurnal boli [Russian Journal of Pain]. 2017; 2(53): 31–38 p. (In Russ.).
7. Kondrashkin P.V., Shibkova D.Z., Tolstyh E.I. [Characteristic of the normal values of the pain threshold values in the dorsal region of the young women obtained by the pressure algometry method under different condition]. Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult [Questions of balneology, physiotherapy and therapeutic physical training] 2017; 1: 26–31. doi: 10.17116/kurort201794126-31. (In Russ.).
8. Kobzar' A.I. [Applied Mathematical Statistics] Prikladnaja matematicheskaja statistika. Moscow: Fizmatlit, 2006. (In Russ.).
9. Kozheurov V.P., Zalyapin V.I., Shagina N.B., et al. Evaluation of uncertainties in <sup>90</sup>Sr-body-burdens obtained by whole-body count: application of Bayes' rule to derive detection limits by analysis of a posteriori data. Appl Radiat Isot. 2002; 57(4): 525–35. PMID: 12361332.