

Оценка нарушений поструральной функции позвоночника в ортостатических стереотипах

Д.В. Долганов, Т.И. Долганова, В.В. Самылов

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

Evaluation of postural function disorders of the spine in orthostatic stereotypes

D.V. Dolganov, T.I. Dolganova, V.V. Samylov

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

В диагностике гипермобильности, патологической подвижности и нестабильности позвоночника отсутствует единая система оценки функциональной подвижности (лабильности) позвоночника. Ввиду отсутствия такой системы биомеханические характеристики позвоночных сегментов, выявляемые в норме и при клиническом обследовании пациентов, инструментально и метрически несопоставимы с его кинематическими характеристиками, выявляемыми при функциональных рентгенограммах. **Цель.** Разработка критериев и способов оценки поструральной функции (лабильности) позвоночника и ригидности его деформаций для рассмотрения и предложения их в качестве метрического стандарта. **Материалы и методы.** Обследованы пациенты (43) в возрасте от 9 до 23 лет с клиническими и рентгенологическими признаками искривлений позвоночника 2–4 степени (по Чаклину) и ортопедически здоровые обследуемые того же возраста (79). Инструментальный анализ мониторируемой поструральной активности туловища и позвоночника в ортостатике осуществляли оптикоэлектронным методом КОМОТ. **Результаты и обсуждение.** Установлено, что поструральные характеристики позвоночных деформаций по ожидаемой величине искривления и вариабельности в выборочных совокупностях существенно отличаются. Если в поструральных и в выборочных совокупностях угловые характеристики позвоночных искривлений подчиняются закону нормального распределения, то их поструральное варьирование в выборочных совокупностях имеет тенденцию к степенной форме распределения. В ортостатике степенная форма распределения вариабельности достоверно проявилась не только в отношении угловых характеристик позвоночных искривлений, но и в отношении вариабельности целого ряда других поструральных параметров. В результате анализа распределения случайных величин, характеризующих угловые искривления позвоночника в ортостатических стереотипах, и зависимостей между их варьированием и ожидаемыми значениями в выборочных совокупностях предложена количественная топографическая оценка функциональной подвижности позвоночника по индексу поструральной лабильности (IPL). **Вывод.** Для адекватной оценки поструральной функции позвоночника (его лабильности) необходима не единичная одномоментная фиксация исследуемых параметров, а многократная их регистрация в объеме реально возможного пролонгированного обследования. Только математически ожидаемые значения и среднеквадратические отклонения угловых показателей более полно отражают состояние позвоночных искривлений и располагают необходимой и достаточной диагностической информативностью. Предложена количественная топографическая оценка функциональной подвижности позвоночника по индексу поструральной лабильности (IPL). В норме IPL находится в диапазоне от 30 до 75 %. При индексе менее 30 % позвоночник гипермобильный, более 75 % – позвоночник ригидный. **Ключевые слова:** компьютерная оптическая топография, функциональная подвижность позвоночника, индекс поструральной лабильности, метрический стандарт

There is no unified system for assessing the functional mobility (lability) of the spine to diagnose its hypermobility, pathological mobility and instability. In the absence of such a system, biomechanical characteristics of spinal segments, revealed in normal individuals and by clinical examination of patients, are instrumentally and metrically incommensurable with its kinematic characteristics detected in functional radiographs. **Purpose** Development of criteria and methods to assess the postural function (lability) of the spine and the rigidity of its deformations for their consideration and suggestion as a metric standard. **Materials and methods** Patients (n = 43) aged 9 to 23 years with clinical and radiological signs of spinal curvatures of grades 2 to 4 (according to Chaklin) and orthopedically healthy subjects of the same age (n = 79) were examined. Instrumental analysis of the monitored postural activity of the trunk and spine in orthostatics was carried out by the optoelectronic method KOMOT. **Results and discussion** It was established that the postural characteristics of spinal deformities are significantly different in sample populations in terms of expected magnitude of curvature and variability. If in postural and in sample sets the angular characteristics of spinal curves obey the law of normal distribution, then their postural variation in samples tends to a power-law type of distribution. In orthostatic position, the power-law type of the variability distribution was reliably manifested not only with respect to the angular characteristics of spinal curvatures, but also with respect to the variability of a number of other postural parameters. As a result of the analysis of the distribution of random variables characterizing the angular curves of the spine in orthostatic stereotypes and the dependencies between their variation and the expected values in sample populations, a quantitative topographic evaluation of the functional mobility of the spine according to the index of postural lability (IPL) was proposed. **Conclusion** To adequately assess the postural function of the spine (its lability), it is necessary to have not only a single-stance recording of the parameters under study but to repeatedly register them in a feasible prolonged examination. Only mathematically expected values and root-mean-square deviations of angular parameters reflect more fully the state of spinal curvatures and have the necessary and sufficient diagnostic information. A quantitative topographic estimation of the functional mobility of the spine according to index of postural lability (IPL) is suggested. Normally, IPL is in the range of 30 to 75 %. If the index is less than 30 %, the spine is hypermobile; if it is more than 75 %, the spinal column is rigid.

Keywords: computer optical topography, functional mobility of the spine, index of postural lability, metric standard

Благодаря сложной организации и специфическому строению позвоночника как биомеханической системы, его основная приспособительная роль в этом качестве состоит в том, чтобы своевременно и адекватно изменять свою форму в соответствии с поструральными потребностями организма [1, 2]. Вместе с тем, известен целый ряд функциональных расстройств и заболеваний, при которых подвижность позвоночника существенно

меняется, а, следовательно, меняется и его способность своевременно корректировать свою форму и демпфировать функциональные нагрузки в соответствии с поструральными потребностями [3]. В частности, различные ограничения подвижности позвоночника, как правило, ухудшают поструральную функцию и приспособительные пострурально-кинематические возможности человека [4, 5]. В патогенезе некоторых заболеваний всевозмож-

ные виды мобильности позвоночника рассматриваются в качестве необходимых условий, например, при оценке риска прогрессирования коксартрозов [6] или при ротационной мобильности как фактора риска развития хронической боли в пояснице [7]. Ограничения подвижности позвоночника в сагиттальной плоскости влияют на динамическую балансировку тела и сопровождаются потерей равновесия и падением [8], а также и утратой качества жизни в целом [9]. Ряд исследователей [10] отмечают, что одним из факторов, способствующих прогрессированию сколиоза, является выраженная подвижность (мобильность) позвоночника, которая зависит от состояния мышц, связочного аппарата, межпозвонковых дисков. Чем мобильнее деформация, тем интенсивней прогрессирует сколиоз [10]. Вместе с тем, если в норме для оценки степени подвижности/мобильности позвоночника используются не рентгенологические тесты Отто и Шобера [11, 12, 13], то в вертебродологии функциональные пробы по оценке мобильности проводятся с преимущественным использованием рентгенографии. Отсутствие единства в метрической идентичности и сопоставимости инструментальных подходов затрудняет выработку четких критериев позвоночной мобильности. В зависимости от заболевания подвижность позвоночника неоднозначно интерпретируется различными авторами и смешивается с такими понятиями как гипермобильность, патологическая подвижность и нестабильность. Из-за отсутствия четких количественных критериев позвоночной мобильности определение нестабильности позвоночника в вертебродологии имеет еще более вольное трактование [14] и базируется одновременно на клинических, рентгенологических данных и биомеханических характеристиках [15]. Предложенные чисто рентгенологические критерии количественной нестабильности позвоночника [16] не нашли широкого применения, поскольку съёмочные процедуры не стандартизованы в отношении сопоставимости масштабов с истинными размерами исследуемого объекта. Погрешности изображений, получаемые на рентгенограммах, близки или сопоставимы с самими величинами нестабильности, и поэтому в клинической практике «нестабильность» преимущественно диагностируется по функциональным рентгенограммам [17]. По причине инструментального и метрического несоответствия объяснения болевого синдрома с позиций биомеханики путем повреждения структур механорецепторов [18] также несостоятельны: во-первых, не выявлено прямой взаимос-

вязи между болевыми проявлениями и гиперподвижностью сегментов позвоночника [19], а во-вторых, участие механических факторов в формировании, к примеру, фантомных или ишемических болей полностью исключается. Таким образом, ключевым моментом проблемы диагностики нестабильности позвоночника, по нашему мнению, является то, что биомеханические характеристики его сегментов, выявляемые в норме и при клиническом обследовании пациентов, не сопоставимы с его кинематическими характеристиками, регистрируемыми на функциональных рентгенограммах. В соответствии с «теорией измерений» [20, 21] клинические и рентгенологические характеристики – это переменные величины качественных порядковых шкал, а биомеханические параметры – это переменные величины количественной шкалы отношений. В связи с разной принадлежностью комплексная составляющая в оценке нестабильности позвоночника затрудняет или делает невозможной адекватную интерпретацию клинических и инструментальных данных из-за того, что включает компоненты, которые соответствуют разным классам переменных величин с неодинаковыми объемами допустимых преобразований. Чтобы исключить методологические ошибки в диагностической стратегии, при оценке мобильности и нестабильности позвоночника необходимо инструментальное и метрическое единство в обследовании нормы и патологии, а также адекватное сопоставление переменных величин в соответствии с их классом допустимых преобразований [22]. В ранее проведенных исследованиях [23] оценку постуральной функции позвоночника (его лабильности) было предложено осуществлять в ортостатических стереотипах методом компьютерной оптической топографии по вариабельности углов дуг позвоночных искривлений. Но диагностическая информативность предложенных критериев и показателей остается невыясненной. В частности, не установлено, в каком диапазоне значений и по каким закономерностям угловые характеристики позвоночных искривлений и деформаций регистрируются в стереотипах постуральной активности, какие показатели и в каком количестве необходимы для полноценной оценки характеристик его постуральной функции.

Цель: разработка критериев и способов оценки постуральной функции (лабильности) позвоночника и ригидности его деформаций для рассмотрения и предложения их в качестве метрического стандарта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследованы пациенты (43 человека) в возрасте от 9 до 23 лет с клиническими и рентгенологическими признаками искривлений позвоночника 2–4 степени (по В.Д. Чаплину) и ортопедически здоровые обследуемые того же возраста (79 человек). Инструментальный топографический анализ мониторируемой постуральной активности туловища и позвоночника в ортостатике осуществляли оптикоэлектронным методом КОМОТ [24]. Анализировались следующие топографические показатели угловой деформации позвоночника: S1_LA – доминирующий угол латеральной асимметрии (топографический аналог R-угла Кобба [25, 26]), S1_RA – угол ротации на вершине доминирующей дуги искривления, S1_IA – расчетный показатель обобщенного угла

искривления по двум предыдущим параметрам. При анализе материала дополнительно учитывали уровни вершин компенсаторных дуг первого и второго порядка (S1(S2)–L2). По критерию нормированных отклонений производился автодиагноз доминирующих нарушений в форме позвоночника и туловища. При этом анализ кинематических параметров позвоночника по топограммам в динамике постуральной активности изучался не изолированно, а в непосредственной связи с другими элементами конкретной постуральной системы туловища. В зависимости от возможностей обследуемого пространственные характеристики туловища и позвоночника оценивали при пролонгированном стоянии от 1,5 до 3,5 минут по 8–16 топографическим снимкам. Продол-

жительность интервалов между снимками составляла от 9 до 23 секунд. Для анализа получаемой информации диагностически значимые параметры выходных форм отображались в виде соответствующих составных таблиц, например, как для пациентки О., 14 лет, DS: идиопатический сколиоз III–IV степени (табл. 1). Табличные результаты, представленные в масштабе реального обследования, отражают динамику количественных и качественных диагностически значимых показателей, характеризующих биомеханические профили ортостатических двигательных стереотипов, являющихся, по существу, персональными динамическими моделями контролируемых постуральных систем.

Для анализа постуральной активности топографический контроль в ортостатике у отдельных здоровых школьников осуществляли повторно с правосторонним и левосторонним перераспределением опорных нагрузок за счет моделирования разновысокости ног двухсантиметровыми подставками. Это позволило увеличить количество и разнообразие возможных вариантов ортостатических стереотипов. В результате общее количество анализируемых постуральных стереотипов у ортопедически здоровых людей в привычной позе составило 99 наблюдений, а с учетом моделируемой разновысокости ног – 161. У обследованных пациентов с учетом моделируемой разновысокости ног общее число наблюдавшихся

постуральных стереотипов составило 86. Полученные для каждого обследуемого результаты анализировали по качественным (формализованный топографический диагноз) и количественным изменениям в его постуральном статусе [23] с учетом абсолютного и относительного варьирования ранее перечисленных показателей.

Все пациенты и их родители, участвующие в исследовании, подписали информированное согласие для проведения данного исследования и публикацию результатов исследований без идентификации личности.

Статистическая обработка материала производилась с помощью пакетов анализа данных Microsoft EXCEL-2010 и AtteStat [27]. Использовались регрессионный и корреляционный анализ и параметрические методы вариационной статистики с расчетом средней арифметической – M , стандартного отклонения – σ , коэффициента вариации – KV и стандартной ошибки – m . Оценка нормальности распределения в анализируемых постуральных совокупностях (по причине их небольших объемов – от 10 до 16 топограмм) осуществлялась по ряду критериев: модифицированному критерию Колмогорова, модифицированному критерию Смирнова, по критериям асимметрии и эксцесса, по критерию хи-квадрат Фишера, а также критериям Крамера-Мизеса, Шапиро-Уилка, Андерсона-Дарлинга и Шапиро-Франсиса. Для оценки достоверности отличий использовался t -критерий Стьюдента.

Таблица 1

Составная таблица выходных параметров топограмм в масштабе реального обследования у пациентки О., 14 лет, DS: идиопатический сколиоз III–IV степени

Время	РТИ	РТИ_F	РТИ_G	РТИ_S	S1_IA	S1_LA	ФП	ГП	СП
13:43:22	3,7	5,2	2,9	2,3	36,9	52,1	С3	РП	НО
13:43:34	3,6	5,0	2,7	2,3	37,7	55,2	С3	РП	НО
13:43:47	4,0	5,7	3,1	2,4	43,5	61,6	С4	РП	НО
13:44:00	3,8	5,4	2,9	2,4	51,5	63,0	С4	РО	НО
13:44:14	3,7	5,2	3,0	2,4	49,8	62,7	С4	РП	НО
13:44:28	3,8	5,2	3,5	2,1	50,4	63,3	С4	РП	НО
13:44:40	3,7	5,2	2,9	2,5	50,4	63,7	С4	РО	НО
13:44:53	3,8	5,2	3,0	2,5	50,2	61,6	С4	РП	НО
13:45:05	3,6	5,0	3,0	2,4	51,9	65,3	С4	РО	НО
13:45:17	3,9	5,5	3,1	2,4	54,1	66,4	С4	РО	НО

Примечание: РТИ – общий интегральный индекс нарушения формы туловища, РТИ_F – интегральный индекс нарушения формы туловища во фронтальной плоскости, РТИ_G – интегральный индекс нарушения в горизонтальной плоскости, РТИ_S – интегральный индекс нарушения в сагиттальной плоскости, S1_IA – обобщенный угол доминирующей дуги искривления, S1_LA – угол латеральной асимметрии. Топографические автодиагнозы для фронтальной (ФП), горизонтальной (ГП) и сагиттальной (СП) проекций, соответствующие сколиозу III степени (С3) и IV степени (С4); ротированному позвоночнику (РП) и ротированной осанке (РО); нарушениям осанки (НО) в сагиттальной проекции.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Чтобы выбранные для оценки функциональной подвижности (лабильности) позвоночника топографические параметры можно было эффективно использовать в метрической сфере деятельности, понадобилась их комплексная проверка на нормальность распределения. Было установлено, что по большинству критериев гипотеза о нормальности распределения не отклонялась в отношении выбранных показателей не только в выборочных совокупностях ортопедически здоровых людей (табл. 2), но и в двигательных постуральных стереотипах у пациентов с идиопатическими сколиозами II–IV степени. Так, у 43 больных в постуральных стереотипах из 15-ти использовавшихся критериев с пороговым значением $p = 0,1$ гипотеза о нормальности распределения угловых характеристик деформации

позвоночника по обобщенному углу искривления была отклонена лишь со следующими результатами: по 8 критериям только у одного пациента, по 4 критериям – у троих, по 3 критериям – у пятерых, по 2 критериям – у десятерых и по 1 критерию у 12 человек. Еще у 12 пациентов из общей совокупности гипотеза о нормальности распределения не отклонялась вообще ни по одному критерию. Распределение больных по выраженности искривлений позвоночника (табл. 3) показало, что в сформированных группах с увеличением степени тяжести деформаций происходит достоверное ($p < 0,001$) увеличение средних значений обобщенного угла искривления в стереотипах и соответствующее им обратно пропорциональное снижение коэффициентов вариации в выборочных совокупностях.

Таблица 2

Статистические оценки нормальности распределения показателей для характеристики угловых искривлений позвоночника в постуральных стереотипах у ортопедически здоровых людей в привычной позе (n = 99)

Критерии нормальности распределения	Показатель S1_LA (градусы)			Показатель S1_RA (градусы)			Показатель S1_IA (градусы)		
	СК	P	при P = 0,1	СК	P	при P = 0,1	СК	P	при P = 0,1
Модифицированный Колмогорова	0,068841	0,441928	+	0,070391	0,391758	+	0,085472	0,156882	+
Модифицированный Смирнова	0,068841	0,223294	+	0,070391	0,194298	+	0,049413	0,0878528	+
Крамера-Мизиса	0,068121	0,582597	+	0,136817	0,063176	-	0,12966	0,078893	-
Андерсена-Дарлинга	0,467055	0,478491	+	0,73375	0,107402	+	0,781438	0,083356	-
Шапиро-Франсиса	0,972845	0,050184	-	0,986329	0,55535	+	0,978734	0,195309	+
Коэффициента асимметрии	-0,25297	0,272314	+	0,202339	0,37993	+	-0,26988	0,265861	+
Критерий эксцесса	0,93932	0,039849	-	-0,4522	0,322445	+	-0,38368	0,424703	+
Жарка-Бера	4,399342	0,221679	+	1,812553	0,808052	+	1,909111	0,769967	+
Критерий Гупта	0,288407	0,180215	+	0,319099	0,074047	-	0,23892	0,74051	+
Критерий Гирри	0,778585	0,34037	+	0,828087	0,135671	+	0,792021	0,783453	+
D критерий Д'Агостино	0,277921	0,144341	+	0,28373	0,567279	+	0,2818	0,922125	+
Хи-квадрат Фишера	27,85711	0,00076	-	6,962238	0,446928	+	16,82921	0,009671	-
Критерий Саркади	0,067352	0,577325	+	0,104256	0,381988	+	0,163129	0,022908	-
Эппса-Палли	0,132216	0,759456	+	0,333283	0,13896	+	0,325253	0,148106	+

Примечание: S1_LA – показатель латеральной асимметрии; S1_RA – показатель угла ротации на вершине доминирующей дуги искривления; S1_IA – обобщенный угол искривления; СК – статистика критерия для n = 99; P – показано двустороннее p-значение. Вывод: при p = 0,1 «+» – гипотеза о нормальности не отклоняется; «-» – гипотеза о нормальности отклоняется.

Таблица 3

Статистические характеристики дуг искривления позвоночника в постуральных стереотипах у обследуемых с различной степенью деформаций

Наименование показателей		Группы обследуемых людей			
		Ортопедически здоровые (n = 99)	Сколиоз II степени (n = 12)	Сколиоз III степени (n = 15)	Сколиоз IV степени (n = 16)
S1_IA (градусы)	M ± m	4,8 ± 0,22	14,1 ± 1,39	38,2 ± 1,47	55,1 ± 1,28
	Kv	45,8 %	34,1 %	14,9 %	9,3 %
	t-	-	6,6	22,5	38,7
PKV (%)	Mm ± m	62,7 ± 7,58	11,6 ± 1,56	5,3 ± 0,7	4,5 ± 1,13
	Kv	120,3 %	46,6 %	50,9 %	100 %
	t-	-	6,7	7,5	7,6

Примечание: S1_IA – обобщенный угол дуги искривления позвоночника по S1_LA и S1_RA показателям в постуральном двигательном стереотипе; PKV – показатель относительного варьирования угловой характеристики S1_IA в постуральном двигательном стереотипе; M – среднее арифметическое значение параметра; ± m – стандартная ошибка средней; Kv – коэффициент вариации параметра в выборочной совокупности; «t-» – t-критерий достоверности отличий по Стьюденту относительно нормы.

Однако математически ожидаемые значения величин PKV (показателя относительного варьирования угловой характеристики S1_IA в постуральном двигательном стереотипе), характеризующих угловое варьирование в постуральных двигательных стереотипах, не обнаруживают подобного варьирования в выборочных совокупностях. То есть, в выборочных совокупностях относительное варьирование средних значений обобщенного угла искривления по стереотипам проявляется совершенно не так, как относительное выборочное варьирование PKV. И, действительно, если у ортопедически здоровых обследуемых по показателю S1_IA гипотеза о нормальности распределения с критическим значением p = 0,1 отклонялась только по 4 из 15 критериев, то по показателю PKV гипотеза о нормальности распределения с тем же пороговым уровнем была отклонена по всем 15 крите-

риям. Т.е. показатели относительного варьирования угловых характеристик в постуральных стереотипах подчиняются не нормальному распределению, а имеют иной характер. Во всяком случае, распределение всех вариантов показателя PKV по шести классам глазомерным методом (модуль NDC AtteStat [27]) показало, что кривая распределения описывается степенным уравнением регрессии:

$$Y = 70,694 \times X^{(-2,364)}, \quad (1)$$

где Y – число появлений величины в диапазоне значений показателя для данного класса, X – обозначение номера класса от 1 до 6 при величине достоверности аппроксимации данных R² = 0,9854. Степенной характер распределения относительного варьирования угловых характеристик искривлений в постуральных стереотипах также проявился и во взаимосвязи с их среднеарифметическими значениями (рис. 1).

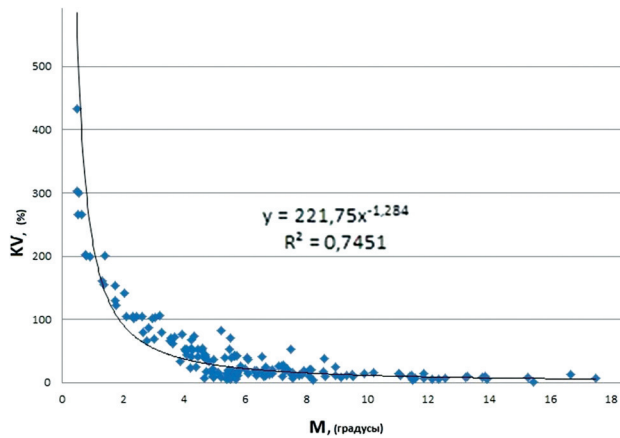


Рис. 1. Степенной характер зависимости коэффициентов вариации обобщенного угла дуги искривления позвоночника (S1_IA) от его среднеарифметических значений в поструральных двигательных стереотипах у ортопедически здоровых обследуемых. KV – коэффициенты вариации S1_IA в поструральных стереотипах, M – его среднеарифметические значения в стереотипах

ОБСУЖДЕНИЕ

Как в норме, так и при двигательной патологии аналогичный характер распределения поструральных параметров в ортостатических стереотипах мы выявили и в ранее проведенных исследованиях [28]. При этом разработанные в этих исследованиях расчетные алгоритмы для оценки стабильности поструральных параметров оказались пригодными и для оценки поструральной функции позвоночных искривлений. В результате, в зависимости от степени вариабельности дуг угловую стабильность или нестабильность позвоночных искривлений в поструральных стереотипах обозначили как показатель поструральной лабильности. При этом анализ взаимосвязей между поструральными характеристиками в совокупностях стереотипов позволил оценивать поструральную функцию (лабильность) позвоночника не отдельно по двум параметрам ($M \pm \sigma$), а интегрировать их в едином показателе, который в зависимости от выраженности, количественно характеризует ригидность или мобильность позвоночника в конкретно наблюдаемой поструральной системе. Разработанный показатель поструральной лабильности (IPL) выражается в процентах и рассчитывается по следующей формуле:

$$IPL = [1 - 0,134 \times \sigma \times M^{0,005}] \times 100 \%, \quad (2)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение обобщенного угла дуги искривления позвоночника в поструральном двигательном стереотипе, M – математическое ожидание обобщенного угла дуги искривления позвоночника в конкретной поструральной системе.

Учитывая значительную вариабельность угловых характеристик позвоночных искривлений, как в выборочных, так и в поструральных совокупностях, можно утверждать, что в ортостатических стереотипах диагностически информативными являются не единичные измерения угловых показателей дуг искривления, а исключительно их математически ожидаемые значения и среднее квадратическое отклонения. Справедливость такого утверждения подтверждается результатами комплексного статистического тестирования. По большинству критериев в отношении угловых характеристик позвоночных искривлений гипотеза о нормальности распределения не отклонялась. Следовательно, исходя из свойств нормальности распределения [29], среднеарифметические значения для поструральных совокупностей должны совпадать с их модой и медианой и нести всю необходимую информацию о местопо-

жении ожидаемой величины, а также варьировании ее значений в поструральной совокупности двигательного стереотипа. Однако, как показало исследование, для характеристики лабильности позвоночных искривлений одного критерия варьирования в поструральном стереотипе оказалось недостаточно. Способ объединения основных выборочных характеристик ($M; \sigma$) углового искривления позвоночника в поструральном стереотипе в виде относительного варьирования по коэффициентам вариации (KV) в математическом аспекте оказался годным в ограниченном диапазоне значений. При средних значениях в стереотипе искривлений позвоночника менее $6,5^\circ$ относительное угловое варьирование превышает 20 % порог (рис. 1), а при превышении указанного порога варьирование признака в поструральных совокупностях считается сильным. По нормативам же, принятым в медицине [30], сильное разнообразие признака в выборочных совокупностях свидетельствует о малой представительности (типичности) соответствующих им средних величин и, следовательно, о нецелесообразности их использования в практических целях. При средних значениях дуги искривления позвоночника в ортостатическом стереотипе более $6,5^\circ$ относительное угловое варьирование не превышает 20 % порога (рис. 1), и, следовательно, средние величины пригодны в практическом применении, а ожидаемый размах угловой характеристики в генеральной поструральной совокупности с вероятностью 99,7 % будет соответствовать $\pm 3\sigma$ отклонениям [30]. В сравнении с коэффициентом вариации эмпирически разработанный показатель поструральной лабильности позвоночных искривлений по расчетной формуле (2) в практическом применении оказался более универсальным. В поструральных стереотипах по степени коррелирования предложенный показатель почти функционально ($r = -0,999974$; при $n = 161$) связан с ожидаемым размахом варьирования угла дуги искривления и с высокой степенью достоверности ($R^2 = 0,9999$) описывается уравнением линейной регрессии:

$$Y = -0,4452 \times X + 44,498, \quad (3)$$

где Y – ожидаемый размах пострурального варьирования обобщенного угла искривления позвоночной дуги в градусах, а X – показатель лабильности позвоночной дуги искривления в поструральном двигательном стереотипе в процентах. В норме оптимальные значения показателя IPL (лабильности позвоночных дуг в орто-

статическом двигательном стереотипе) для обобщенного угла искривления находятся в диапазоне от 30 до 75 %. В этом диапазоне значений обеспечивается оптимальная лабильность позвоночника, которая в процессе ортостатической приспособительной активности адекватно отслеживает поструральные потребности обследуемого. При значениях IPL ниже 30 % уровня ортостатические стереотипы сопровождаются сильным угловым варьированием позвоночных искривлений и топографически проявляются быстрым наступлением поструральной декомпенсации [31]. При величине IPL более 75 % уровня позвоночные искривления становятся ригидными.

Пример расчета поструральной лабильности позвоночника.

Обследована пациентка О., 14 лет, DS: идиопатический «С»-образный груднопоясничный сколиоз III-IV степени. Правосторонний реберный горб. При спондилографии определяется «С»-образная деформация груднопоясничного отдела позвоночника с вершиной на Th7-8, угол 60° (рис. 2), по данным топографии расчетный угол латеральной асимметрии (топографический аналог R-угла Кобба) – 61,6° (рис. 3). При топографическом обследовании у пациентки обнаружена быстро наступающая поструральная декомпенсация в виде усиления угла дуги «С»-образной деформации (табл. 1). При посткомпьютерной обработке данных размах варьирования в стереотипе показателя латеральной асимметрии S1_LA составил 14° и,

в среднем, по десяти значениям (61,5°) приближался к величине по R-снимку. Размах обобщенного угла искривления S1_IA составил 17°. Средняя величина (M) показателя S1_IA – 47,65°, а среднее квадратическое отклонение (σ) показателя S1_IA – 5,77°. Показатель поструральной лабильности позвоночной деформации (IPL) рассчитывается по формуле (2):

$$IPL = [1 - 0,134 \times 5,77 \times 47,65^{0,005}] \times 100 \% = 21,2 \%$$

Полученное значение менее 30 %, что соответствует сильному угловому варьированию доминирующей дуги искривления и интерпретируется как мобильная деформация.

Пример 2. Пациент Ч., 16 лет, обратился для обследования в поликлинику Центра. По R-граммам, выполненным в положении лежа за месяц до топографического обследования, определялась «С»-образная деформация позвоночника с вершиной на уровне Th8 и углом по Коббу 12°. По результатам топографического обследования дуги бокового искривления во фронтальной плоскости соответствовали здоровой норме и здоровой субнорме, а в сагиттальной проекции – нарушению осанки в форме сутулой спины. Средняя величина (M) обобщенного угла дуги искривления в стереотипе по десяти значениям составила 5,58°, а среднее квадратическое отклонение (σ) – 1°. Расчет показателя поструральной лабильности позвоночной деформации по формуле (2) составил IPL = 86,48 %, что соответствует ригидному позвоночнику.

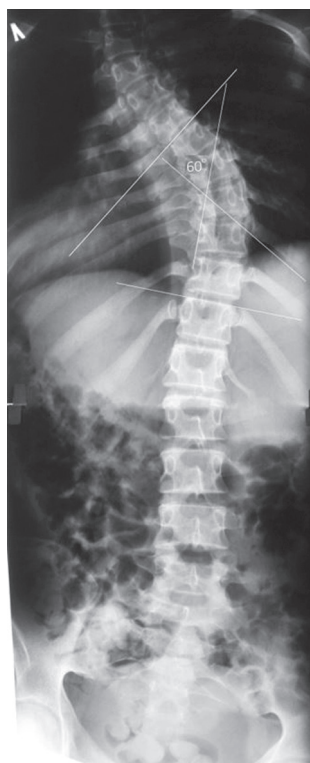


Рис. 2. R-грамма позвоночника во фронтальной проекции пациентки О., 14 лет. DS: идиопатический сколиоз III-IV степени. Расчетный R-угол Кобба 60°

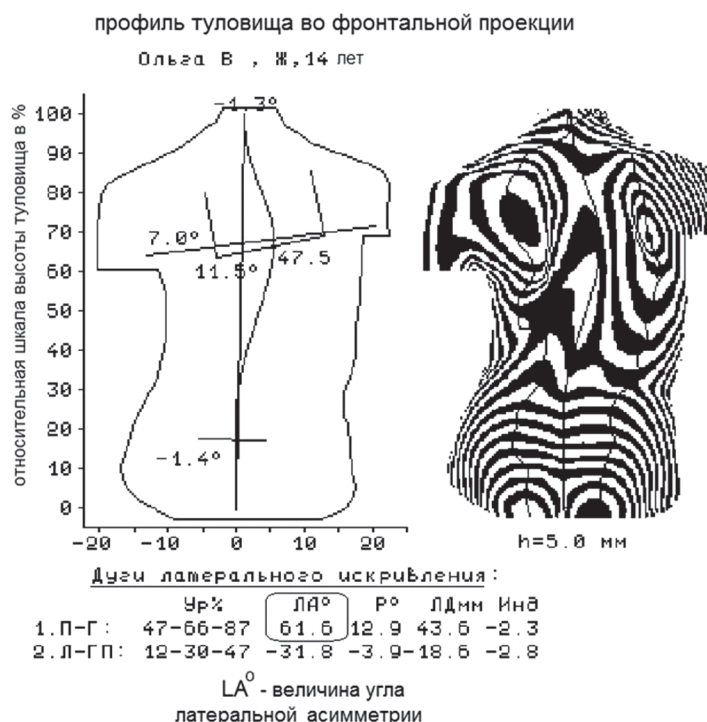


Рис. 3. Фрагмент топограммы (профиль туловища во фронтальной проекции): LA° – расчетный угол латеральной асимметрии (топографический аналог R-угла Кобба) – 61,6°

ВЫВОДЫ

1. В ортостатических стереотипах среднеарифметические значения и среднее квадратическое отклонение угловых показателей дуг искривления позвоночника, полученные при пролонгированном топографическом

обследовании, более полно отражают состояние позвоночных искривлений и, по сравнению с однократными измерениями, располагают большей информативностью и диагностической ценностью.

2. Постуральные характеристики позвоночных деформаций по ожидаемой величине искривления и вариабельности в выборочных совокупностях существенно отличаются: если в постуральных и в выборочных совокупностях угловые характеристики позвоночных искривлений подчиняются закону нормального распределения, то их постуральное варьирование в выборочных совокупностях имеет тенденцию к степенной форме распределения.

3. В ортостатике степенная форма распределения вариабельности постуральных характеристик обнару-

жена не только в отношении вертикально и горизонтально ориентированных кинематических элементов туловища, но и достоверно проявилась в отношении угловых характеристик позвоночных искривлений.

4. Предложена количественная топографическая оценка функциональной подвижности позвоночника в ортостатических стереотипах по индексу постуральной лабильности (IPL). В норме IPL находится в диапазоне от 30 до 75 %. При индексе менее 30 % позвоночник гипермобильный, более 75 % – позвоночник ригидный.

ЛИТЕРАТУРА

- Капанджи А.И. Физиология суставов: схемы биомеханики человека с комментариями: [в 3-х т.]. Т. 3. Позвоночник. М.: Эксмо, 2009. 344 с.
- Михайлов В.П. Приспособительные возможности позвоночника при воздействии возмущающих факторов // Хирургия позвоночника. 2004. № 3. С. 72-78.
- Молчановский В.В. Вертеброневрология: [в 5 ч.]. Ч. IV (2). Двигательная система человека, дегенеративно-дистрофическое поражение позвоночного столба и неспецифическая вертеброневрологическая патология. Ростов н/Д: СКНЦ ВШ ЮФУ, 2015. 314 с.
- Namaoui A., Alami-Rodrigues C. Influence of Cervical Spine Mobility on the Focal and Postural Components of the Sit-to-Stand Task // Front. Hum. Neurosci. 2017. Vol. 11. P. 129. DOI: 10.3389/fnhum.2017.00129.
- Корреляционная зависимость клинико-морфологических проявлений и биомеханических параметров у больных с дегенеративным спондилолизом L4 позвонка / А.В. Крутько, А.В. Пелеганчук, Д.М. Козлов, А.В. Гладков, Ш.А. Ахметьянов // Травматология и ортопедия России. 2011. № 4 (62). С. 44-52.
- Sagittal alignment and mobility of the thoracolumbar spine are associated with radiographic progression of secondary hip osteoarthritis / H. Tateuchi, H. Akiyama, K. Goto, K. So, Y. Kuroda, N. Ichihashi // Osteoarthritis Cartilage. 2017. Vol. 26, No 3. P. 397-404. DOI: 10.1016/j.joca.2017.12.005.
- Relative mobility of the pelvis and spine during trunk axial rotation in chronic low back pain patients: A case-control study / M. Taniguchi, H. Tateuchi, S. Ibuki, N. Ichihashi // PLoS One. 2017. Vol. 12, No 10. P. e0186369. DOI: 10.1371/journal.pone.0186369.
- Takeuchi Y. Sagittal plane spinal mobility is associated with dynamic balance ability of community-dwelling elderly people // J. Phys. Ther. Sci. 2017. Vol. 29, No 1. P. 112-114. DOI: 10.1589/jpts.29.112.
- Relationships among spinal mobility and sagittal alignment of spine and lower extremity to quality of life and risk of falls / Y. Ishikawa, N. Miyakoshi, M. Hongo, Y. Kasukawa, D. Kudo, Y. Shimada // Gait Posture. 2017. Vol. 98. P. 103. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.01.011.
- Дорсальная хирургическая коррекция сколиоза инструментарием Cotrel-Dubouset с предварительной галопельвиктракцией и без неё / С.Т. Ветрилэ, А.А. Кулешов, А.А. Кисель, А.Н. Прохоров, Р.В. Енаидиева // Хирургия позвоночника. 2005. № 4. С. 32-39.
- Кашуба В.А. Биомеханика осанки. Киев: Олимпийская литература, 2003. 280 с.
- Стороженко И.И. Оценка подвижности (гибкости) позвоночника у лиц летного состава // Актуальные проблемы физической подготовки силовых структур. 2012. № 1. С. 31-37.
- The influence of pain aliments and vertebral mobility in patients after whole body cryotherapy / Z. Śliwiński, B. Michalak, J. Pasek, G. Śliwiński, S. Szajkowski, A. Sieroń // Wiad. Lek. 2017. Vol. 70, No 3 pt. 2. P. 543-546.
- Виссарионов С.В., Попов И.В. Современные взгляды на нестабильность позвоночника // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2011. № 3. С. 88-92.
- Сегментарная нестабильность позвоночника: нерешенные вопросы / А.В. Крутько, Е.С. Байков, Н.А. Коновалов, А.Г. Назаренко // Хирургия позвоночника. 2017. Т. 14, № 3. С. 74-83. URL: <https://doi.org/10.14531/ss2017.3.74-83>
- Three-dimensional in vivo measurement of lumbar spine segmental motion / R.S. Ochia, N. Inoue, S.M. Renner, E.P. Lorenz, T.H. Lim, G.B. Andersson, H.S. An // Spine. 2006. Vol. 31, No 18. P. 2073-2078. DOI:10.1097/01.brs.0000231435.55842.9e.
- Gopinath P. Lumbar segmental instability: Points to ponder // J. Orthop. 2015. Vol. 12, No 4. P. 165-167. DOI:10.1016/j.jor.2015.09.005.
- Panjabi M.M. A hypothesis of chronic back pain: ligament subfailure injuries lead to muscle control dysfunction // Eur. Spine J. 2006. Vol. 15, No 5. P. 668-676. DOI: 10.1007/s00586-005-0925-3.
- Surgery for Low Back Pain / M. Szpalski, R. Gunzburg, B.L. Rydevik, J.-C. Le Huek, M. Mayer, eds. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 285 p. DOI: 10.1007/978-3-642-04547-9.
- Хамханова Д.Н. Общая теория измерений: учеб. пособие. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. 168 с.
- Симошенко Ю.П., Горленко О.А., Яшутина Е.Г. Общая теория измерений: учеб. пособие. Брянск: БГТУ, 2005. 155 с.
- Романенко В.А., Хорьяков В.А., Мосенз В.А. Измерение и оценка двигательных способностей человека с позиций метрологии и физиологии мышечной деятельности // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. 2009. № 1. С. 118-122.
- Губин А.В., Долганов Д.В. Стереотипы постуральной приспособительной активности позвоночника до и после оперативной коррекции укороченной конечности // Хирургия позвоночника. 2012. № 4. С. 32-40.
- Сарнадский В.Н., Фомичев Н.Г. Мониторинг деформации позвоночника методом компьютерной оптической топографии: пособие для врачей. Новосибирск: НИИТО, 2001. 44 с.
- Багриновская И.Л. Сопоставимость оценки углов сколиотической деформации позвоночника начальных стадий по данным рентгена и компьютерной оптической топографии // Хирургия позвоночника. 2014. № 3. С. 32-37.
- Сарнадский В.Н. Компьютерная оптическая топография. Вариабельность результатов обследования пациентов со сколиозом в естественной позе // Хирургия позвоночника. 2010. № 4. С. 75-86. DOI:10.14531/ss2010.4.74-85.
- Гайдышев И.П. Решение научных и инженерных задач средствами Excel, VBA и C/C++. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 512 с.
- Долганов Д.В., Попков Д.А., Аранович А.М. Количественная оценка проявлений двигательной патологии в постуральных ортостатических стереотипах // Российский журнал биомеханики. 2016. Т. 20, № 4. С. 378-390. DOI: 10.15593/RZhBiomech/2016.4.10
- Лакин Г.Ф. Биометрия: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1990. 350 с.
- Применение методов статистического анализа для изучения общественного здоровья и здравоохранения [Электронный ресурс]: учеб. пособие / под ред. В.З. Кучеренко. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. URL: <http://pdnr.ru/a14862.html>
- Долганов Д.В., Колесников С.В., Долганова Т.И. Топографические проявления и критерии мобильных деформаций позвоночника // Гений ортопедии. 2017. № 2. С. 195-200. DOI: 10.18019/1028-4427-2017-23-2-195-200.

REFERENCES

- Kapandzhi A.I. *Fiziologija sustavov: skhemy biomehaniki cheloveka s kommentariami* [Physiology of joints: Patterns of human biomechanics with comments]. In 3 vol. *Pozvonochnik* [The spine]. Vol. 3. M., Eksmo, 2009. 344 p. (in Russian)
- Mikhailov V.P. *Prisposobitelnye vozmozhnosti pozvonochnika pri vozdeistvii vozmushchaiushchikh faktorov* [The spine adaptive potential under the influence of perturbation factors]. *Khirurgiia Pozvonochnika*, 2004, no. 3, pp. 72-78. (in Russian)

3. Molchanovskii V.V. *Vertebronevrologiia. V 5 chastiakh. Chast IV (2): Dvigatelnaia sistema cheloveka, degenerativno-distroficheskoe porazhenie pozvonocnogo stolba i nespetsificheskaiia vertebronevrologicheskaiia patologiia* [Vertebroneurology. In 5 parts. Part IV (2): Human motor system, degenerative-dystrophic involvement of the spine and nonspecific vertebroneurological pathology]. Rostov n/D, SKNTs VSh IUFU, 2015. 314 p. (in Russian)
4. Hamaoui A., Alamini-Rodrigues C. Influence of Cervical Spine Mobility on the Focal and Postural Components of the Sit-to-Stand Task. *Front. Hum. Neurosci.*, 2017. Vol. 11. P. 129. DOI: 10.3389/fnhum.2017.00129.
5. Krutko A.V., Peleganchuk A.V., Kozlov D.M., Gladkov A.V., Akhmetianov Sh.A. Korreliatsionnaia zavisimost kliniko-morfologicheskikh proiavlenii i biomekhanicheskikh parametrov u bolnykh s degenerativnym spondilolistezom L4 pozvonka [Correlation dependence of clinical-and-morphological manifestations and biomechanical parameters in patients with degenerative spondylolisthesis of L4 vertebra]. *Travmatologiya i Ortopediia Rossii*, 2011, no. 4 (62), pp. 44-52. (in Russian)
6. Tateuchi H., Akiyama H., Goto K., So K., Kuroda Y., Ichihashi N. Sagittal alignment and mobility of the thoracolumbar spine are associated with radiographic progression of secondary hip osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*, 2017, vol. 26, no. 3, pp. 397-404. DOI: 10.1016/j.joca.2017.12.005.
7. Taniguchi M., Tateuchi H., Ibuki S., Ichihashi N. Relative mobility of the pelvis and spine during trunk axial rotation in chronic low back pain patients: A case-control study. *PLoS One*, 2017, vol. 12, no. 10, pp. e0186369. DOI: 10.1371/journal.pone.0186369.
8. Takeuchi Y. Sagittal plane spinal mobility is associated with dynamic balance ability of community-dwelling elderly people. *J. Phys. Ther. Sci.*, 2017, vol. 29, no. 1, pp. 112-114. DOI: 10.1589/jpts.29.112.
9. Ishikawa Y., Miyakoshi N., Hongo M., Kasukawa Y., Kudo D., Shimada Y. Relationships among spinal mobility and sagittal alignment of spine and lower extremity to quality of life and risk of falls. *Gait Posture*, 2017, vol. 98, pp. 103. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.01.011.
10. Vetrile S.T., Kuleshov A.A., Kisel A.A., Prokhorov A.N., Enalidieva R.V. Dorsalnaia khirurgicheskaiia korrektsiia skolioza instrumentarium Cotel-Duboussset s predvaritelnoi galopelviktraksiei i bez nee [Dorsal surgical correction of scoliosis using Cotel-Duboussset instrumentation with preliminary halo-pelvic-traction and without it]. *Khirurgiia Pozvonochnika*, 2005, no. 4, pp. 32-39. (in Russian)
11. Kashuba V.A. *Biomekhanika osanki* [Posture biomechanics]. Kiev, Olimpiiskaia literatura, 2003. 280 p. (in Russian)
12. Storozhenko I.I. Otsenka podvizhnosti (gibkosti) pozvonochnika u lits letnogo sostava [Evaluation of the spine mobility (flexibility) in flying staff persons]. *Aktualnye Problemy Fizicheskoi Podgotovki Silovykh Struktur*, 2012, no. 1, pp. 31-37. (in Russian)
13. Śliwiński Z., Michalak B., Pasek J., Śliwiński G., Szajkowski S., Sieroń A. The influence of pain ailments and vertebral mobility in patients after whole body cryotherapy. *Wiad. Lek.*, 2017, vol. 70, no. 3 pt. 2, pp. 543-546.
14. Vissarionov S.V., Popov I.V. Sovremennye vzgliady na nestabilnost pozvonochnika [Modern views on the spine instability]. *Vestnik Travmatologii i Ortopedii im. N.N. Priorova*, 2011, no. 3, pp. 88-92. (in Russian)
15. Krutko A.V., Baikov E.S., Kononov N.A., Nazarenko A.G. Segmentarnaia nestabilnost pozvonochnika: nereshennye voprosy [The spine segmental instability: unsolved problems]. *Khirurgiia Pozvonochnika*, 2017, vol. 14, no. 3, pp. 74-83. (in Russian) Available at: <https://doi.org/10.14531/ss2017.3.74-83>.
16. Ochia R.S., Inoue N., Renner S.M., Lorenz E.P., Lim T.H., Andersson G.B., An H.S. Three-dimensional in vivo measurement of lumbar spine segmental motion. *Spine*, 2006, vol. 31, no. 18, pp. 2073-2078. DOI:10.1097/01.brs.0000231435.55842.9e.
17. Gopinath P. Lumbar segmental instability: Points to ponder. *J. Orthop.*, 2015, vol. 12, no. 4, pp. 165-167. DOI:10.1016/j.jor.2015.09.005.
18. Panjabi M.M. A hypothesis of chronic back pain: ligament subfailure injuries lead to muscle control dysfunction. *Eur. Spine J.*, 2006, vol. 15, no. 5, pp. 668-676. DOI: 10.1007/s00586-005-0925-3.
19. Szpalski M., Gunzburg R., Rydevik B.L., Le Huec J.-C., Mayer M., eds. *Surgery for Low Back Pain*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2010. 285 p. DOI: 10.1007/978-3-642-04547-9.
20. Khamkhanova D.N. *Obshchaia teoriia izmerenii : ucheb. posobie* [General theory of measurements: training manual]. Ulan-Ude, Izd-vo VSGTU, 2006. 168 p. (in Russian)
21. Simonenko Iu.P., Gorlenko O.A., Iashutina E.G. *Obshchaia teoriia izmerenii : ucheb. posobie* [General theory of measurements: training manual]. Briansk, BGTU, 2005. 155 p. (in Russian)
22. Romanenko V.A., Khoriakov V.A., Mosenz V.A. Izmerenie i otsenka dvigatelnykh sposobnostei cheloveka s pozitsii metrologii i fiziologii myshechnoi deiatelnosti [Measurement and evaluation of human motor potential from the standpoints of metrology and physiology of muscle activity]. *Pedagogika, Psikhologiya i Mediko-biologicheskie Problemy Fizicheskogo Vospitaniia i Sporta*, 2009, no. 1, pp. 118-122. (in Russian)
23. Gubin A.V., Dolganov D.V. Stereotipy posturalnoi prispособitelnoi aktivnosti pozvonochnika do i posle operativnoi korrektsii ukorochennoi konechnosti [Stereotypes of postural adaptive activity of the spine before and after surgical correction of the shortened limb]. *Khirurgiia Pozvonochnika*, 2012, no. 4, pp. 32-40. (in Russian)
24. Sarnadskii V.N., Fomichev N.G. *Monitoring deformatsii pozvonochnika metodom kompiuternoi opticheskoi topografii : posobie dlia vrachei* [Monitoring of the spine deformity by the method of computerized optical topography: guide for physicians]. Novosibirsk, NIITO, 2001. 44 p. (in Russian)
25. Bagrinovskaia I.L. Sopostavimost otsenki uglov skolioticheskoi deformatsii pozvonochnika nachalnykh stadii po dannym rentgena i kompiuternoi opticheskoi topografii [Comparability of evaluating the angles of the spine scoliotic deformity of initial stages by the data of X-ray and computerized optical topography]. *Khirurgiia Pozvonochnika*, 2014, no. 3, pp. 32-37. (in Russian)
26. Sarnadskii V.N. Kompiuternaia opticheskaiia topografiia. Variabelnost rezultatov obsledovaniia patsientov so skoliozom v estestvennoi poze [Computerized optical topography. Variability of the results of examining patients with scoliosis in a natural position]. *Khirurgiia Pozvonochnika*, 2010, no. 4, pp. 75-86. (in Russian) DOI:10.14531/ss2010.4.74-85.
27. Gaidyshev I.P. *Reshenie nauchnykh i inzhenernykh zadach sredstvami Excel, VBA i S/S++* [Solution of scientific and engineering problems by the means of Excel, VBA and C/C++]. Spb., BKhV-Peterburg, 2004. 512 p. (in Russian)
28. Dolganov D.V., Popkov D.A., Aranovich A.M. Kolichestvennaia otsenka proiavlenii dvigatelnoi patologii v posturalnykh ortostaticeskikh stereotipakh [A quantitative evaluation of motor pathology manifestations in postural orthostatic stereotypes]. *Rossiiskii Zhurnal Biomekhaniki*, 2016, vol. 20, no. 4, pp. 378-390. (in Russian) DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2016.4.10.
29. Lakin G.F. *Biometriia: ucheb. posobie* [Biometry: training manual]. M., Vysshiaia Shkola, 1990. 350 p. (in Russian)
30. Kucherenko V.Z., ed. *Primenenie metodov statisticheskogo analiza dlia izucheniia obshchestvennogo zdorovia i zdravookhraneniia: ucheb. posobie* [Using methods of statistical analysis in order to study public health and health service]. M., GEOTAR-Media, 2011. (in Russian) Available at: <http://pdnr.ru/a14862.html>.
31. Dolganov D.V., Kolesnikov S.V., Dolganova T.I. Topograficheskie proiavleniia i kriterii mobilnykh deformatsii pozvonochnika [Topographic manifestations and criteria of mobile spine deformities]. *Genij Ortopedii*, 2017, no. 2, pp. 195-200. (in Russian) DOI: 10.18019/1028-4427-2017-23-2-195-200.

Рукопись поступила 17.04.2018

Сведения об авторах:

1. Долганов Дмитрий Владимирович, к. б. н., ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия
2. Долганова Тамара Игоревна, д. м. н., ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия; Email: rjik532007@rambler.ru
3. Самылов Вадим Викторович, к. м. н., ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия

Information about the authors:

1. Dmitrii V. Dolganov, Ph.D. of Biological Sciences, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation
2. Tamara I. Dolganova, M.D., Ph.D., Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation; Email: rjik532007@rambler.ru
3. Vadim V. Samylov, M.D., Ph.D., Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation