

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БАЛЛИСТОГРАММЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТОЙКИ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОЙ СТАБИЛОМЕТРИИ У ДЕТЕЙ С ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИЕЙ

УДК 616-072.7 + 616.711

Нигамадянов Н.Р.<sup>1</sup>, Цыкунов М.Б.<sup>2</sup>, Лукьянов В.И.<sup>1</sup>, Иванова Г.Е.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии ДЗМ» Департамента здравоохранения г. Москвы, Москва, Россия

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

<sup>3</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения РФ, Москва, Россия

## A STUDY OF INDICATORS OF BALLISTOGRAMS UPRIGHT USING COMPUTER STABILOMETRY IN CHILDREN WITH ORTHOPEDIC PATHOLOGY

Nigamadyanov N.R.<sup>1</sup>, Tsyikunov M.B.<sup>2</sup>, Lukyanov V.I.<sup>1</sup>, Ivanova G.E.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>State Budget Health Institution "Scientific Research Institute of Emergency Children's Surgery and Traumatology DZM" of the Moscow City Health Department, Moscow, Russia

<sup>2</sup>The federal state budgetary institution "National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after NN. Priorov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

### Введение

Вертикальное положение тела является итогом эволюции человека в филогенезе, оно предполагает преодоление силы земного притяжения и сопровождается колебаниями тела в трех плоскостях – фронтальной (ось X), сагиттальной (ось Y), и вертикальной (ось Z) [1–3]. Многие отечественные и зарубежные исследования посвящены изучению баланса вертикальной стойки методом стабиллометрии в норме и при различной патологии по известным методикам и алгоритмам во фронтальной и сагиттальной плоскостях, например, средние значения координат проекции центра тяжести тела человека, площадь статокинезиграмм и некоторые другие [4–18]. Однако, к настоящему времени не полностью раскрыты вопросы в изучении показателей баланса в вертикальной плоскости – баллистограммы, в литературе есть лишь отдельные публикации [19,20]. При этом некоторые авторы указывают на необходимость дальнейшего изучения этого параметра [21,22]. Таким образом, выявление особенностей баллистограмм с применением математического анализа и разработка алгоритмов количественной оцен-

ки параметров, у детей с ортопедической патологией, в настоящее время являются весьма актуальными.

### Цель

Провести исследование показателей баллистограммы вертикальной стойки методом компьютерной стабиллометрии у детей с ортопедической патологией с целью повышения эффективности диагностики.

### Материал и методы исследования

Проведено обследование 118 детей в возрасте от 14 до 18 лет (средний возраст  $15,6 \pm 1,9$  лет), наблюдающихся по поводу различных ортопедических заболеваний. В зависимости от класса заболеваний по Международной классификации болезней 10 пересмотра, пациенты разделены по группам: 1-я группа (n=16): лордоз (M 40.3, M 40.4, M 40.5); 2-я группа (n=20): кифоз 1–2 степени (M 40.0, M40.1, M 40.2); 3-я группа (n=20): сколиоз 1 степени (M 41.1, M 41.2); 4-я группа (n=14): плоскостопие 1 степени (M 21.4); 5-я группа (n=24): неосложненные стабильные компрессионные переломы грудного отдела позвоночника

Тип AI (S 22.0, S 22.1). Наличие сопутствующей патологии сердце, легких, неврологических, психических заболеваний являлись критериями исключения. Классификацию патологии осанки проводили по Staffel (1889), определением степени сколиоза и кифоза по способу J. Cobb, степень сколиоза определяли по Д.В. Чаклину, определение степени компрессионных переломов по Magerl с соавт. (1994). Диагностику степени плоскостопия проводили по рентгенограмме с определением угла и высоты продольного свода. Контрольную группу составили здоровые дети (n=24) – 6 группа.

Всем пациентам проводилось полное клиническое обследование с обязательным проведением стабиллометрического исследования на аппарате «Стабилан-01» (производство ЗАО ОКБ «Ритм» г. Таганрог, регистрационное удостоверение от 07 октября 2010 №ФСР 2010/08958). Данный аппарат позволяет исследовать колебания вертикальной стойки посредством регистрации положения, отклонений и других характеристик проекции общего центра тяжести на плоскость опоры. Стабиллометрическое исследование проводили в специальном помещении достаточной площади и соответствующим освещением. Обследуемых детей помещали на платформу босиком в «Европейской позиции» – пятки вместе, носки разведены под углом в 30 градусов. Время регистрации стаблогографического сигнала не менее 20 секунд. Регистрировались показатели, полученные в двух тестах: стаблогографическая проба, при которой исследуемый находится в вертикальной стойке и смотрит прямо с фиксированным взглядом; тест «Минешь», при котором необходимо отклонением своего тела сохранять равновесие таким образом, чтобы удерживать маркер в центре мишени на мониторе.

Математическому анализу и дальнейшей интерпретации подвергались данные баллистограммы, характеризующие модуляцию сил давления общего центра тяжести тела в вертикальной стойке на стаблогографическую платформу по Z оси. Следует подчеркнуть, что в данном случае исследовались не физические перемещения общего центра тяжести тела в вертикальной плоскости, а модуляция веса тела, т. е. произведение его массы на ускорение свободного падения, собственными ускорениями групп мышц, которые увеличивают или уменьшают общую результирующую [3]. С точки зрения математической модели баллистограмма, является одним из видов колебаний – динамический хаос и отличается нерегулярными, похожими на случайные процессы изменения динамических переменных во времени, нами проведен математический анализ данных с вычислением следующих показателей [23, 24]:

1. Стандартное отклонение сигнала (кг) – показатель рассеивания значений случайной величины относительно её математического ожидания.
2. Коэффициент вариации (%) – показатель, отражающий различие значений какого-либо признака у разных единиц совокупности за один и тот же промежуток времени.
3. Ранг (кг) – разница между минимальным и максимальным величинами признака.
4. Показатель Хёрста – мера, используемая в анализе временных рядов. Эта величина уменьшается, когда задержка между двумя одинаковыми парами значений во временном ряду увеличивается.
5. Энтропия (биты) – интегративная мера изменчивости в поведении траекторий системы.

6. Средняя частота (Гц) – среднее число колебаний, совершаемых за единицу времени.
7. Средняя амплитуда (кг<sup>2</sup>) – среднее отклонение колеблющегося тела от положения равновесия.
8. По результатам, полученных в двух пробах определяли:
9. Отношение стандартных отклонений.
10. Разница энтропий (биты).
11. Разница средних частот (Гц)
12. Отношение средних амплитуд.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программы «Stat. Soft. Inc.»: дисперсионный анализ с LSD-тестом, кластерный анализ методом Варда по коэффициентам корреляции Пирсона, дискриминантный анализ. Использовали вычислительные и графические возможности редактора электронных таблиц Excel. Статистически значимое различие величин считали при  $p < 0.05$ .

#### **Результаты исследования и их обсуждение.**

Баллистограмма дает интегральную оценку баланса тела и представляет собой более сложное образование, чем для колебаний во фронтальной или сагиттальной плоскости, и включает в том числе информацию о дыхательном акте, состоянии сократительной функции миокарда (частота колебаний от 1 до 1,5 Гц). Колебания в вертикальной плоскости частотой в 5 Гц связаны с постоянным перемещением массы до 0,3 кг и обусловлены деятельностью крупных мышечных массивов, активных в вертикальной стойке, каковыми являются мышцы-разгибатели нижних конечностей и туловища, т. е. антигравитационные группы мышц [22]. Нами проанализирован весь спектр колебаний на частотах до 10 Гц и выше. В таблице 1 представлены средние значения показателей баллистограммы по группам по результатам стаблогографической пробы.

Как видно из таблицы, показатели баллистограммы (стаблогографический тест) при сравнении с группой здоровых детей стандартное отклонение и ранг больше у детей с кифозом на 55,3% и 35,7% соответственно, у детей со сколиозом 1 степени ранг больше на 113%, показатель Хёрста меньше у детей с кифозом на 17% и детей со сколиозом на 0,09%, энтропия больше у детей с кифозом на 4,5%, меньше на 7,8% у детей с лордозом и на 10,3% у детей с компрессионными переломами грудного отдела позвоночника, средняя частота меньше на 9,9% у детей с кифозом, средняя амплитуда в группе детей с кифозом больше на 125%, коэффициент вариации ни в одной группе не имел статистически значимых различий по сравнению с группой здоровых детей.

Средние значения показателей баллистограммы в исследуемых группах при проведении теста «Мишень», представлены в табл. 2.

В таблице продемонстрированы различия показателей в сравнении с группой здоровых детей, так стандартное отклонение больше на 70% у детей с лордозом, на 35,2% у детей с кифозом, на 188% у детей с плоскостопием, коэффициент вариации больше у детей с лордозом на 92,7% и плоскостопием на 341%, ранг меньше на 85,4% у детей с кифозом, на 187% в группе с лордозом, показатель Хёрста больше на 41,3% в группе детей с лордозом, на 9,7% с плоскостопием и на 14% с компрессионными переломами позвоночника, энтропия меньше на 22,8% в группе детей с лордозом, на 9,7% с плоскостопием и на 14% с компрессионными переломами грудного отдела позвоночника, средняя частота меньше на 19,3% у детей с лордозом, на 14,6% у детей с кифозом, на 2% со

Таблица 1. Показатели баллистографии, стабиллографическая проба.

№	Параметры	1 группа Лордоз (n=16)	2 группа Кифоз (n=20)	3 группа Сколиоз (n=20)	4 группа Плоскосто- пие (n=14)	5 группа Компрессионные переломы позво- ночника (n=24)	6 группа Здоровые дети (n=24)
1	Стандартное отклонение	0,044±0,017	0,073±0,016*	0,047±0,014	0,040±0,014	0,049±0,028	0,047±0,01
2	Коэффициент вариации	0,136±0,053	0,122±0,025	0,118±0,025	0,117±0,047	0,114±0,027	0,122±0,037
3	Ранг (макс-мин)	0,443±0,208	0,562±0,123*	0,884±0,205*	0,378±0,157	0,555±0,505	0,414±0,086
4	Показатель Хёрста	0,361±0,071	0,296±0,064*	0,304±0,085*	0,324±0,084	0,382±0,105	0,360±0,080
5	Энтропия	2,704±0,204*	3,068±0,156*	2,817±0,460	2,767±0,268	2,630±0,406*	2,935±0,251
6	Средняя частота	5,062±0,237	4,611±0,332*	5,049±0,312	4,982±0,461	5,039±0,530	5,122±0,318
7	Средняя амплитуда	0,011±0,007	0,027±0,012*	0,012±0,007	0,009±0,007	0,016±0,023	0,012±0,005

\* – статистически значимые различия (p<0.05) по отношению к 6 группе (здоровые дети)

Таблица 2. Показатели баллистограммы, тест «Мишень»

№	Параметры	1 группа Лордоз (n=16)	2 группа Кифоз (n=20)	3 группа Сколиоз (n=20)	4 группа Плоскосто- пие (n=14)	5 группа Компрессион- ные переломы позвоночника (n=24)	6 группа Здоровые дети (n=24)
1	Стандартное отклонение	0,087±0,079*	0,069±0,019*	0,052±0,013	0,147±0,184*	0,103±0,167	0,051±0,016
2	Коэффициент вариации	0,264±0,191*	0,116±0,025	0,136±0,044	0,605±0,931*	0,244±0,376	0,137±0,078
3	Ранг (макс-мин)	1,160±0,892*	0,748±0,700*	0,460±0,243	0,496±0,253	0,544±0,344	0,404±0,157
4	Показатель Хёрста	0,376±0,093*	0,338±0,181	0,308±0,108	0,388±0,210*	0,335±0,078*	0,266±0,048
5	Энтропия	2,156±0,639*	2,788±0,496	2,564±0,572	2,522±0,403*	2,398±0,591*	2,796±0,146
6	Средняя частота	4,125±1,213*	4,363±0,784*	5,006±0,562	4,820±0,934	4,999±0,542	5,112±0,651
7	Средняя амплитуда	0,066±0,119*	0,048±0,055*	0,014±0,007	0,010±0,007	0,029±0,041	0,014±0,008

\* – статистически значимые различия (p<0.05) по отношению к 6 группе (здоровые дети)

сколиозом, на 5,7% у детей с плоскостопием, на 2,2% с компрессионными переломами позвоночника, средняя амплитуда больше на 371% у детей с лордозом и на 332% у детей с кифозом.

Показатели баллистограммы, полученные по результатам проведения двух тестов представлены в таблице 3.

Как видно из таблицы при сравнении показателей с группой здоровых детей, отношение стандартных отклонений больше на 8% в группе детей с кифозом, меньше на 28% у детей с плоскостопием, разница энтропий больше на 290% в группе с лордозом, разница средних частот больше на 8418% в группе детей с лордозом, отношение средних амплитуд ни в одной группе статистически значимо не отличалось.

Интерпретируя полученные данные в шести группах детей с различной ортопедической патологией, выявлены следующие закономерности стабиллометрической баллистограммы: в первом тесте, т.е. при отсутствии

внешних возмущений в первой группе отмечались меньшие значения энтропии на 7,8% по сравнению со здоровыми детьми; во второй группе выявлены меньшие значения показателя Хёрста на 17%, средней частоты на 9,9% и большие значения стандартного отклонения на 55,3%, энтропии на 4,5%, средней амплитуды на 125%; в третьей группе отмечали меньшие значения показателя Хёрста на 0,09%, большие значения ранга на 113%; в четвертой группе различий не выявлено; в пятой группе выявлены меньшие значения энтропии на 10,3%.

Таким образом, по данным баллистографии без возмущающего воздействия биологической обратной связи постуральный баланс у детей с сколиозом 1 степени сравним со здоровыми детьми, при этом дети с кифозом имели наибольшие отличия, заключающиеся в том, что колебания по вертикальной плоскости имели более «хаотичный» характер.

Таблица 3. Показатели баллистограммы, по результатам 2 тестов

№	Параметры	1 группа Лордоз (n=16)	2 группа Кифоз (n=20)	3 группа Сколиоз (n=20)	4 группа Плоскостопие (n=14)	5 группа Компрессионные переломы позво- ночника (n=24)	6 группа Здоровые дети (n=24)
1	Отношение стандартных отклонений	0,727±0,418 *	1,073±0,179	0,985±0,185	0,707±0,491 *	0,952±0,478	0,993±0,272
2	Разница энтропий	0,547±0,583 *	0,281±0,559	0,219±0,571	0,245±0,347	0,248±0,509	0,140±0,193
3	Разница средних частот	0,937±1,148 *	0,248±0,739	0,029±0,512	0,162±0,650	0,043±0,413	0,011±0,562
4	Отношение средних амплитуд	0,669±0,693	1,085±0,529	1,045±0,393	1,015±0,615	1,192±1,014	1,047±0,517

\*- статистически значимые различия ( $p < 0.05$ ) по отношению к 6 группе (здоровые дети)

По результатам второго теста, который сопровождался возмущающим воздействием биологической обратной связи – удержание курсора в центре мишени, обеспечивающиеся работой антигравитационных мышц туловища и нижних конечностей, следующим образом повлияли на спектральные показатели баллистограммы: в первой группе отмечали меньшие значения ранга на 187%, энтропии на 22,8%, средней частоты на 19,3%, большие значения стандартного отклонения на 70%, коэффициента вариации на 92,7%, показателя Хёрста на 42,3%, средней амплитуды на 371%, таким образом по сравнению со здоровыми детьми отмечался лучший баланс; во второй группе выявлены меньшие значения средней частоты на 14,6% и большие значения стандартного отклонения на

55,3%, ранга на 85,4%, средней амплитуды на 332%, т.е. дети с кифозом при двигательной нагрузке демонстрировали большой «хаос» колебаний по вертикальной оси; в третьей группе различий не выявлено, таким образом плоскостопие не влияло на показатели колебаний по сравнению с группой здоровых детей; в четвертой группе отмечали меньшие значения энтропии на 9,7%, большие значения стандартного отклонения на 188%, коэффициента вариации на 341%, показателя Хёрста на 45,8%; в пятой группе выявлены меньшие значения энтропии на 14%, большие значения показателя Хёрста на 25,9%, таким образом дети с компрессионными переломами грудного отдела позвоночника были более устойчивыми по данным баллистографии, что возможно связано с ношением кор-

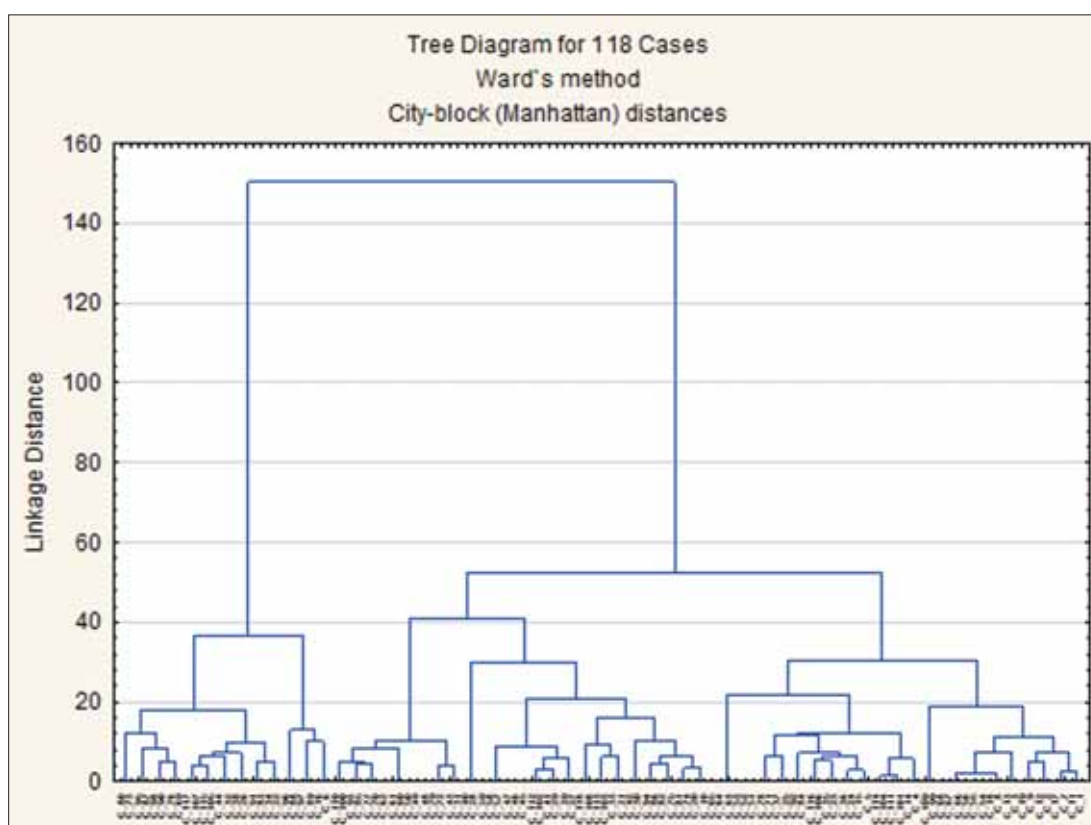


Рис. 1. Кластерный анализ методом Варда по коэффициенту корреляции Пирсона, с целью обнаружения «схожести» показателей баллистограммы по исследуемым группам (диаграмма)

Таблица 4. Классификационная матрица по группам

	Лордоз (n= 16)	Кифоз (n= 20)	Сколиоз (n= 20)	Плоскостопие (n= 14)	Компрессионные переломы позвоночника (n= 24)	Здоровые дети (n= 24)	Процент корректной идентификации
	p*=0.1355	p=0.16949	p=0.16949	p=0.11864	p=0.20339	p=0.20339	
Лордоз (n= 16)	10	0	0	0	4	2	62,5%
Кифоз (n= 20)	0	18	0	0	2	0	90%
Сколиоз (n= 20)	0	0	14	0	0	6	70%
Плоскостопие (n= 14)	0	0	2	6	2	4	43%
Компрессионные переломы позвоночника (n= 24)	0	0	4	0	16	4	67%
Здоровые дети (n= 24)	0	0	0	0	0	24	100%
Всего n= 118	10	18	20	6	24	40	74,5%

**Примечание.** \*p – вероятность идентификации ортопедической патологии по данным баллистографии.

сетов. По результатам двух тестов выявлены отношения показателей без и с воздействием возмущающей силы, так в первой группе отмечали меньшие значения отношения стандартных отклонений на 72,6% по сравнению со здоровыми детьми, что вновь свидетельствовало об особенностях баланса у детей с лордозом, большие значения разницы энтропий на 290%, разницы средних частот на 8418%; в четвертой группе выявлены меньшие значения отношения стандартных отклонений на 28%.

Таким образом, в ответ на возмущающее воздействие биологической обратной связи постуральный баланс по данным баллистографии у детей с ортопедической патологией имел большие отличия. При этом в группе детей со сколиозом колебания в вертикальной плоскости не отличались от здоровых детей. Возможно, полученные данные свидетельствуют о влиянии на показатели баллистограммы особенностей анатомии и функций отдельных звеньев локомоторной системы у детей с различной ортопедической патологией и требуют дальнейшего исследования.

Нами проведен кластерный анализ методом Варда по коэффициенту корреляции Пирсона, с целью обнаружения «схожести» показателей баллистограммы по исследуемым группам (рис. 1).

Как видно из дендрограммы, пациенты группируются в достаточно плотные группы по показателям баллистограммы, что свидетельствует о возможной идентификации ортопедической патологии. Показатели баллистографии позволили сформировать классификационную

матрицу идентификации ортопедической патологии у детей (табл. 4).

Как видно, из представленной таблицы, идентификация ортопедической патологии у детей или ее отсутствие по данным баллистографии возможна в 90% при кифозе, в 70% при сколиозе 1 степени, в 100% у здоровых детей, в 66,6% при компрессионных переломах грудного отдела позвоночника, в 62,5% при лордозе и в 43% при плоскостопии.

Таким образом, результаты проведенного исследования, показывают высокую вероятность идентификации ортопедической патологии у детей по данным баллистографии, что в свою очередь позволит повысить эффективность диагностики. Настоящая работа требует дальнейшего изучения влияния отдельных особенностей ортопедической патологии по показателям баллистографии.

### Выводы

Результаты исследования свидетельствуют о том, что показатели баллистограммы вертикальной стойки методом компьютерной стабилотрии позволяют выявить особенности постурального баланса и мышечной активности у детей с ортопедической патологией. Применение результатов исследования в практической деятельности дает возможность повысить эффективность диагностики, а также могут быть использованы для оценки эффективности медицинской реабилитации при ортопедической патологии у детей сопровождающейся постуральными нарушениями.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Gagey, P.M., Weber, B. Posturologie. Regulation et dereglements de la station debout. Paris. Masson, (1995).
- Gurfinkel, V.S. The Mechanisms of Postural Regulation in Man. Physiology and General Biology Reviews 7, 59–87. (1999).
- Nashner, L.M. Analysis of Stance Posture in Humans. Handbook of Behavioral Neurobiology 5, 527–565(1981).
- Soames, R. W., Atha, J. The spectral characteristics of postural sway behaviour. European Journal of Applied Physiology 49, 169–177 (1982).
- Mamura, K., Mano, T., Iwase, S. Role of Postural Sway as a Compensatory Mechanism for Gravitational Stress on the Cardiovascular System. Gait Posture 9, 5 (1999).
- Jansen, R.D., Nansel, D.D., Szlczak, M.J. Power spectral and microvector frequency analysis of dynamic standing foot force patterns in a normal male subject. Manipulative Physiol. Ther. 7, 361–369 (1990).
- Цыкунов М.Б., Нигамадьянов Н.Р., Лукьянов В.И., Иванова Г.Е., Безобразов В.Д. Диагностика постуральных нарушений методом компьютерной стабилотрии у детей с патологией позвоночника. Вестник восстановительной медицины. 2017. № 4 (80). С. 10–16.
- Нигамадьянов Н.Р., Лукьянов В.И., Валиуллина С.А., Мамонтова Н.А. Компьютерная стабилотрия в диагностике постуральных нарушений у детей с неосложненными компрессионными переломами позвоночника. Вестник восстановительной медицины. 2016. № 3 (73). С. 30–34.
- Clark, S., Rose, D.J. Evaluation of Dynamic Balance among Community-dwelling Older Adult Fallers: A Generalizability Study of the Limits of Stability Test. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 4, 468–474 (2001).
- Goodworth, A.D., Peterka, R.J. Contribution of Sensorimotor Integration to Spinal Stabilization in Humans. Neurophysiology 102, 496–512 (2009).
- Kavanagh, J.J., Morrison, S. & Barrett, R.S. Lumbar and Cervical Erector Spinae Fatigue Elicit Compensatory Postural Responses to Assist in Maintaining Head Stability during Walking. Applied Physiology 101, 1118–1126. (2006).
- Kooij, H., Vlugt, E. Postural Responses Evoked by Platform Perturbations are Dominated by Continuous Feedback. Neurophysiology 98, 730–43 (2007).
- Kavounoudias, A., Roll, R., Roll, J. Foot Sole and Ankle Inputs Contribute Jointly to Human Erect Posture Regulation. Physiology 53, 869–878 (2001).
- Peterka, R.J., Loughlin, P.J. Dynamic Regulation of Sensorimotor Integration in Human Postural Control. Neurophysiology 91, 410–23 (2004).
- Safavynia, S.A., Ting, L.H. Task-level Feedback Can Explain Temporal Recruitment of Spatially Fixed Muscle Synergies Throughout Postural Perturbations. Neurophysiology 107, 159–177 (2012).
- Cenciarini, M., Peterka R.J. Stimulus-dependent Changes in the Vestibular Contribution to Human Postural Control. Neurophysiology 95, 2733–2750 (2006).
- Redfern, M.S., Talkowski, M.E., Jennings, J.R. & Furman, J.M. Cognitive Influences in Postural Control of Patients with Unilateral Vestibular Loss. Gait & Posture 19, 105–114 (2004).
- Peterka, R.J., Loughlin, P.J. Dynamic Regulation of Sensorimotor Integration in Human Postural Control. Neurophysiology 91, 410–23 (2004).
- Романов Ю.Н., Романова Л.А., Батыршина Г.Р. Исследование показателей баллистограммы и спектрального анализа кикбоксеров при компьютерной стабилотрии. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. 2012. № 28. С. 44–47.
- Кручинин П.А., Холмогорова Н.В., Кручинина А.П. Использование компонентов баллистограмм, обусловленных сердечной деятельностью, при исследовании удержания человеком заданной позы. Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 22. № 4–1 (22). С. 10.
- Djomin, A.V., Gudkov, A.B. & Gribanov, A.V. Characteristics of postural stability in men of elderly and senile age. Human ecology 12, 50–54 (2010).
- Skvortsov, D. V. The clinical conception of analysis of abnormal walking. Gait and Posture 6, 264 (1997).
- Hurst, H.E. (1951), "Long-term storage of reservoirs: an experimental study", Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol. 116, pp. 770–799
- Зайдель А.Н. Основы спектрального анализа. М.: Наука, 1965. – 324 с.

## REFERENCES

- Gagey, P.M., Weber, B. Posturologie. Regulation et dereglements de la station debout. Paris. Masson, (1995).
- Gurfinkel, V.S. The Mechanisms of Postural Regulation in Man. Physiology and General Biology Reviews 7, 59–87. (1999).
- Nashner, L.M. Analysis of Stance Posture in Humans. Handbook of Behavioral Neurobiology 5, 527–565(1981).
- Soames, R. W., Atha, J. The spectral characteristics of postural sway behaviour. European Journal of Applied Physiology 49, 169–177 (1982).
- Mamura, K., Mano, T., Iwase, S. Role of Postural Sway as a Compensatory Mechanism for Gravitational Stress on the Cardiovascular System. Gait Posture 9, 5 (1999).
- Jansen, R.D., Nansel, D.D., Szlczak, M.J. Power spectral and microvector frequency analysis of dynamic standing foot force patterns in a normal male subject. Manipulative Physiol. Ther. 7, 361–369 (1990).
- Цыкунов М.Б., Нигамадьянов Н.Р., Лукьянов В.И., Иванова Г.Е., Безобразов В.Д. Диагностика постуральных нарушений методом компьютерной стабилотрии у детей с патологией позвоночника. Вестник восстановительной медицины. 2017. № 4 (80). С. 10–16.
- Нигамадьянов Н.Р., Лукьянов В.И., Валиуллина С.А., Мамонтова Н.А. Компьютерная стабилотрия в диагностике постуральных нарушений у детей с неосложненными компрессионными переломами позвоночника. Вестник восстановительной медицины. 2016. № 3 (73). С. 30–34.
- Clark, S., Rose, D.J. Evaluation of Dynamic Balance among Community-dwelling Older Adult Fallers: A Generalizability Study of the Limits of Stability Test. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 4, 468–474 (2001).
- Goodworth, A.D., Peterka, R.J. Contribution of Sensorimotor Integration to Spinal Stabilization in Humans. Neurophysiology 102, 496–512 (2009).
- Kavanagh, J.J., Morrison, S. & Barrett, R.S. Lumbar and Cervical Erector Spinae Fatigue Elicit Compensatory Postural Responses to Assist in Maintaining Head Stability during Walking. Applied Physiology 101, 1118–1126. (2006).
- Kooij, H., Vlugt, E. Postural Responses Evoked by Platform Perturbations are Dominated by Continuous Feedback. Neurophysiology 98, 730–43 (2007).
- Kavounoudias, A., Roll, R., Roll, J. Foot Sole and Ankle Inputs Contribute Jointly to Human Erect Posture Regulation. Physiology 53, 869–878 (2001).
- Peterka, R.J., Loughlin, P.J. Dynamic Regulation of Sensorimotor Integration in Human Postural Control. Neurophysiology 91, 410–23 (2004).
- Safavynia, S.A., Ting, L.H. Task-level Feedback Can Explain Temporal Recruitment of Spatially Fixed Muscle Synergies Throughout Postural Perturbations. Neurophysiology 107, 159–177 (2012).
- Cenciarini, M., Peterka R.J. Stimulus-dependent Changes in the Vestibular Contribution to Human Postural Control. Neurophysiology 95, 2733–2750 (2006).
- Redfern, M.S., Talkowski, M.E., Jennings, J.R. & Furman, J.M. Cognitive Influences in Postural Control of Patients with Unilateral Vestibular Loss. Gait & Posture 19, 105–114 (2004).
- Peterka, R.J., Loughlin, P.J. Dynamic Regulation of Sensorimotor Integration in Human Postural Control. Neurophysiology 91, 410–23 (2004).
- Романов Ю.Н., Романова Л.А., Батыршина Г.Р. Исследование показателей баллистограммы и спектрального анализа кикбоксеров при компьютерной стабилотрии. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. 2012. № 28. С. 44–47.
- Кручинин П.А., Холмогорова Н.В., Кручинина А.П. Использование компонентов баллистограмм, обусловленных сердечной деятельностью, при исследовании удержания человеком заданной позы. Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 22. № 4–1 (22). С. 10.
- Djomin, A.V., Gudkov, A.B. & Gribanov, A.V. Characteristics of postural stability in men of elderly and senile age. Human ecology 12, 50–54 (2010).
- Skvortsov, D. V. The clinical conception of analysis of abnormal walking. Gait and Posture 6, 264 (1997).
- Hurst, H.E. (1951), "Long-term storage of reservoirs: an experimental study", Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol. 116, pp. 770–799
- Zajdel' A.N. Osnovy spektral'nogo analiza. M.: Nauka, 1965. – 324 s.

## РЕЗЮМЕ

С целью повышения эффективности диагностики постуральных нарушений у детей с ортопедическими заболеваниями изучены показатели баллистограммы вертикальной стойки методом компьютерной стабилотрии. Стабилотрические измерения проведены у 118 детей, имеющих ортопедическую патологию: кифоз, лордоз, сколиоз, плоскостопие, компрессионные неосложненные переломы грудного отдела позвоночника. Группу контроля составили 26 здоровых детей. В ходе исследования анализировались показатели, отражающие модуляцию массы тела в вертикальной стойке по Z оси (баллистограмма): стандартное отклонение, коэффициент вариации, ранг, показатель

Хёрста, энтропия, средняя частота, средняя амплитуда, отношение стандартных отклонений, разница энтропий, разница средних частот, отношение средних амплитуд. Выявлены показатели баллистограммы, использование которых обеспечивает возможность повысить эффективность диагностики постуральных нарушений при ортопедических заболеваниях у детей.

**Ключевые слова:** баллистограмма, компьютерная стабилметрия, постуральные нарушения, дети, ортопедическая патология, реабилитация.

**ABSTRACT**

In order to improve the diagnosis of postural disorders in children with orthopedic diseases, the parameters of the ballistogram of the vertical stand by computer stabilometry were studied. Stabilometric measurements were carried out in 118 children with orthopedic pathology: kyphosis, lordosis, scoliosis, flat feet, compression uncomplicated fractures of the thoracic spine. The control group consisted of 26 healthy children. In the course of stabilometric studies, the parameters reflecting the modulation of body mass in the vertical rack along the Z axis were analyzed: standard deviation, coefficient of variation, rank, Hurst index, entropy, average frequency, average amplitude, the ratio of standard deviations, the difference of entropies, the difference of average frequencies, the ratio of average amplitudes. The identified parameters ballistograms the use of which provides the opportunity to improve the efficiency of diagnosis of postural disorders orthopedic diseases in children.

**Keywords:** ballistogramm data, computerized stabilometry, posture disorders, children, orthopedic pathology, rehabilitation.

---

---

**Контакты:**  
**Нигамадьянов Н.Р.** E-mail: motokniga@mail.ru