

УДК 612.76

СТАБИЛОМЕТРИЧЕСКИЙ ИНВАРИАНТ УДЕРЖАНИЯ РАВНОВЕСИЯ В НОРМЕ И ПАТОЛОГИИ¹Давыдов О.Д., ²Монтиле А.И., ³Марчук Ю.В., ⁴Монтиле А.А.¹ФГБУ «Уральский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. В.Д. Чаклина» Минздрава РФ, Екатеринбург, e-mail: davod09@yandex.ru;²ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»;³ГБУЗ СО ДКБ восстановительного лечения научно-практический центр «Бонум»;⁴ФГБУН «Ботанический сад УрО РАН»

В результате клинической апробации нового способа обработки данных стабилόμεтрического тестирования выявлена пространственная конфигурация частоты появления интервалов движения с постоянной скоростью, инвариантная относительно анатомических и функциональных патологий костно-суставного аппарата, мышечной и нервной систем. Параметрические и структурные особенности данной конфигурации обеспечивают дифференциацию нарушений функции равновесия по двигательной (мышечной), управляющей (нервной) и опорной (костно-суставной) подсистемам. Аппроксимация поверхности конфигурации, полученная в результате обработки данных стабилόμεтрического тестирования четырех разновозрастных групп обследуемых без выявленных патологий, может быть использована для замены «нормы» при сравнительной обработке клинических данных конкретных пациентов и в качестве модели идеального удержания равновесия при отсутствии целенаправленного движения для верификации концептуальных формальных моделей организации движения.

Ключевые слова: компьютерная стабилόμεметрия, нервная система, мышечная система, костно-суставной аппарат

STABILOMETRIC INVARIANT EQUILIBRIUM IN NORMAL AND PATHOLOGY¹Davydov O.D., ²Montile A.I., ³Marchuk Y.V., ⁴Montile A.A.¹Ural Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Ekaterinburg, e-mail: davod09@yandex.ru;²Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg;³Scientific and Practical Center «Bonum», Ekaterinburg;⁴Botanical Garden-Institute, Ural Division of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg

Clinical approbation of a new data processing method of stabilometry testing revealed the spatial configuration of the intervals frequency with constant velocity, which is invariant relative to anatomical and functional pathology in osteoarticular, muscular and nervous systems. Parametric and structural features of this configuration provide differentiation of dysfunction equilibrium by the motor (muscle) control (nervous) and the support (locomotor) subsystems. Approximation of the surface configuration resulting from data stabilometry testing four different ages groups that were examined without identifying pathologies can be used to replace the «norm» in a comparative handling clinical data in the concrete patients, and as a model of ideal retention equilibrium in the absence of purposeful movement for verification the conceptual formal models of movement organization.

Keywords: computer stabilometry, nervous system, muscular system, locomotor system

Одним из современных и перспективных методов исследования функционального состояния двигательной системы человека является стабилόμεметрия [4, 9]. Актуальность рассматриваемой тематики, на фундаментальном уровне относящейся к разработке математических моделей физиологии движения [1, 4], обусловлена в первую очередь потребностями клинической практики, связанными с потенциальной возможностью использовать результаты стабилόμεметрических исследований для решения задач диагностики, дифференциальной диагностики и оценки эффективности лечебных мероприятий. Проблема заключается в невозможности решения вышеперечисленных задач на базе единой методики обработки данных стабилόμεметрических тестов [4], создание которой тормо-

зится крайне узким применением стабилόμεметрии в клинической практике лечебных учреждений любого профиля, несмотря на высокий по международным стандартам уровень разработанной аппаратуры, математического и программного обеспечения и невысокую по сравнению с другими современными методами диагностики стоимость оборудования.

Основной причиной сложившейся ситуации, на наш взгляд, является не столько отсутствие у врачей специальных знаний в соответствующей области, в частности математических методов обработки данных, сколько давно отмеченный на методологическом уровне разрыв между «теоретической» медициной, предполагающей существенный уровень статистического обобщения результатов наблюдений,

и клинической практикой, с необходимостью, ориентированной как раз на учет индивидуальных особенностей организма пациента, специфики форм и заболеваний [5]. Например, при травмах в разной степени поражаются структурные и функциональные элементы костно-суставной, мышечной и нервной систем, при этом диагностика травм, определение стратегии и тактики лечения предполагает различение патологических процессов и определение степени влияния каждого из повреждений на общее состояние человека с учетом анамнеза.

Непосредственно получаемым результатом отдельного стабилметрического теста является упорядоченный по номерам измерений, осуществляемым через фиксированный промежуток времени, набор пар чисел: фронтальная и сагиттальная координаты центра давления стоп на стабилметрическую платформу. Стандартным способом отображения результатов являются: фронтальная стабилограмма (изменение фронтальной координаты во времени), сагиттальная стабилограмма (изменение сагиттальной координаты во времени) и статокинеziограмма (траектория перемещения центра давления по плоскости опоры). На основе регистрируемых данных вычисляются стандартные, векторные и частотные показатели. В качестве критерия для оценки функции равновесия используются либо отдельные показатели, либо один производный критерий, значение которого вычисляется алгоритмически или по некоторой содержательно обосновываемой формуле [9, 10, 12].

Известные в настоящее время показатели и критерии характеризуют статокинеziограмму и отдельные стабилограммы в целом. За исключением длины траектории, значения получаются в результате усреднений по всему набору непосредственно измеряемых и вычисляемых на их основе показателей. Как следствие, для последующего анализа становятся недоступными многие индивидуальные особенности стабилограмм и статокинеziограмм. В свою очередь, применение в качестве критерия единственной величины (свертка многомерного пространства признаков) позволяет определить факт наличия функционального нарушения путем сравнения значения критерия, полученного при обследовании пациента, с диапазоном значений определенным по выборке лиц с отсутствием патологий, но не дает возможности выявить причины, вызвавшие данное нарушение, так как одно и то же значение критерия может обуславливаться различными взаимосвязанными, как правило, противоположно и нелинейно влияющими факторами. При

отображении многомерного пространства признаков на числовую ось утрачиваются многие возможности для решения задач таксономии и различения, базовых для выявления и дифференциации по подсистемам организма причин нарушения движений, диагностики, контроля за лечебным процессом и оценивания его результативности.

Ситуация усугубляется отсутствием объясненных на уровне анатомии и/или физиологии в норме и патологии (т.е. клинически интерпретируемых) связей между изменениями значений подавляющего большинства вышеперечисленных наборов показателей и наблюдаемой врачом структурной (лучевые методы диагностики) и функциональной (функциональные методы диагностики) динамикой состояния двигательной системы больного. Что обусловлено, в первую очередь, исторически сложившимся «стохастическим» подходом к анализу и интерпретации результатов наблюдений, инициированным естественной комбинаторной сложностью изучаемой системы [13], при любом способе моделирования наблюдаемых процессов. Для иллюстрации на рис. 1 приведены примеры статокинеziограмм, фиксирующих перемещение центра давления по платформе при прохождении «простейшего» 20-секундного стабилметрического теста для обследуемого без выявленных патологий (рис. 1, а) и пациентов с различными патологиями (рис. 1 б, в, г, д), демонстрирующие «очевидную» хаотичность движений.

Новая система показателей

С целью преодоления вышеописанных недостатков был разработан новый набор показателей и способ их получения [14], с 2012 года проходящий клиническую апробацию в УНИИТО им. В.Д. Чаклина. Теоретической основой предложенной системы показателей служит модель движения, учитывающая в явном виде фактически выявленную на всех уровнях организации движения дискретность процессов [1, 4]. Второй особенностью модели, по сравнению с единственной известной в различных модификациях кинематической моделью Бернштейна – Гельфанда, является первичность моделирования взаимодействующих мышечной и нервной подсистем. Костно-суставная система рассматривается как «источник» динамических ограничений.

Базовым понятием новой системы показателей является интервал неизменного движения – двухкомпонентная величина ($\Delta t_i, V_i$), характеризующаяся значениями двух переменных: длительность интервала (Δt_i) и постоянная для интервала

скорость (V). Рассматриваются интервалы неизменного движения при перемещении во фронтальной и сагиттальной плоскостях, а также для статокинезиограммы. В последнем случае определяются интервалы с постоянными линейными и угловыми скоростями. Помимо вышеперечисленных «элементарных» интервалов вводятся «обобщенные» интервалы неизменного движения, характеристической функцией принадлежности к множеству которых является одновременное посто-

янство скорости изменения фронтальной и сагиттальной координат или линейной и угловой скоростей. Стабилограммы интерпретируются как последовательности элементарных интервалов. Траектория перемещения проекции центра давления по стабилиметрической платформе (статокинезиограмма) рассматривается как последовательность обобщенных интервалов неизменного движения. Границам интервалов сопоставляются мгновенные изменения соответствующих скоростей.

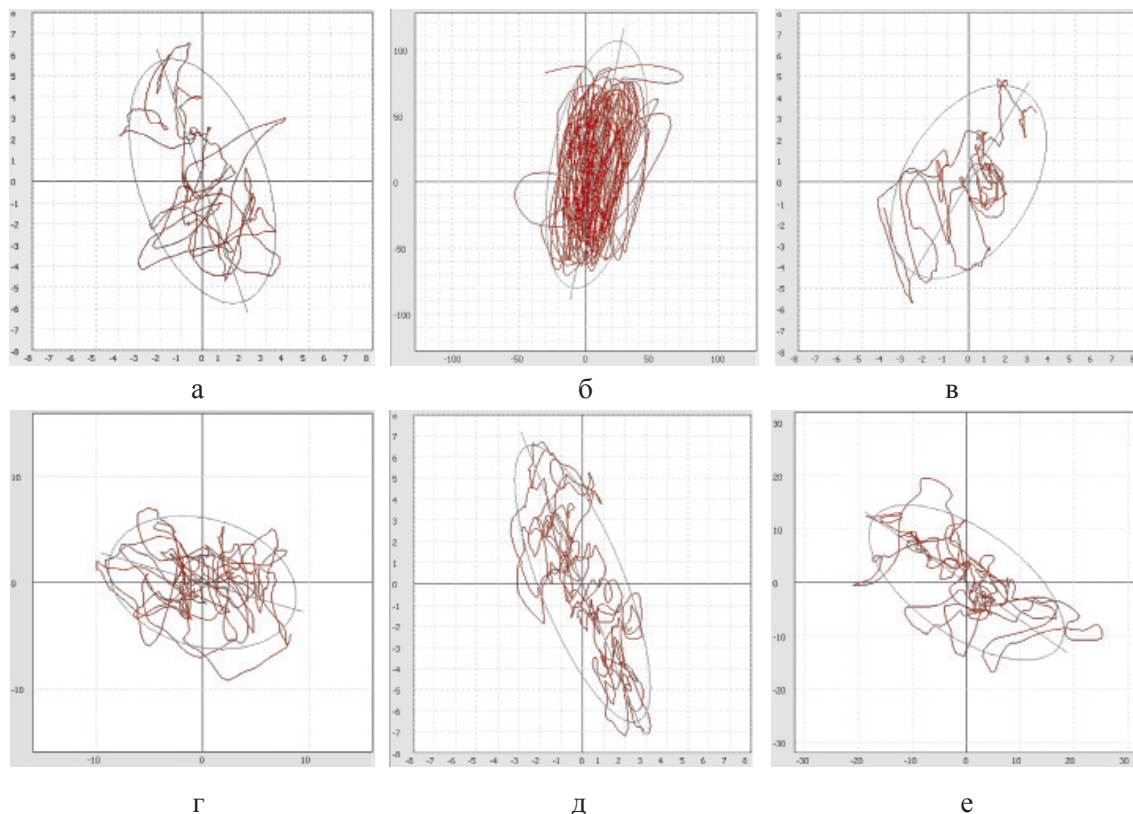


Рис. 1. Статокинезиограммы для обследуемых с различными диагнозами:
а – физиологическая норма; б – чувствительная атаксия; в – ДЦП, спастическая диплегия;
г – двусторонний остеоартроз тазобедренных суставов; д – посттравматический остеоартроз
таранно-пяточного сустава; е – идиопатический сколиоз II степени

Комплексное оценивание результата стабилиметрического теста базируется на определении количества типов элементов (различных по длительности и скорости интервалов неизменного движения), количества элементов каждого типа (интервалов конкретной длительности с конкретной скоростью), мощностей подмножеств типов элементов (количества интервалов одинаковой длительности с различными скоростями движения, количества интервалов движения различных длительностей с одинаковыми скоростями) и фиксации связей между элементами различных ти-

пов, каждая из которых характеризуется конкретным мгновенным изменением скорости. Временные показатели предложенной системы позволяют делать заключения о нервной составляющей процесса движения, а скоростные – о мышечной. Диапазоны скоростных показателей, их величина и симметрия/асимметрия для всех или отдельных длительностей интервалов характеризуют особенности костно-суставного аппарата пациента.

В процессе клинической апробации на заболеваниях как с доминированием патологий отдельных систем, так и сочетанных,

связанной с отработкой методик диагностики, контроля за ходом лечения и оценки его результатов, был обнаружен фундаментальный, с точки зрения физиологии движения и системного анализа в первую очередь теории управления сложными системами, факт – наличие однотипной формы поверхности, отображающей частоту появления интервалов неизменного движения с определенными длительностями и скоростями при удержании равновесия, если отсутствует целенаправленное движение. Различным анатомическим и функ-

циональным патологиям соответствуют специфические параметрические и визуальные изменения формы, более точно – специфические отклонения от «нормальной» формы, присущей обследуемым без выявленных патологий, которые уменьшаются при успешном лечении. Для иллюстрации на рис. 2 приведен пример первичной обработки результатов прохождения стабилметрического теста пациентом с идиопатическим сколиозом I ст.; для сравнения выводятся результаты тестирования здорового обследуемого.

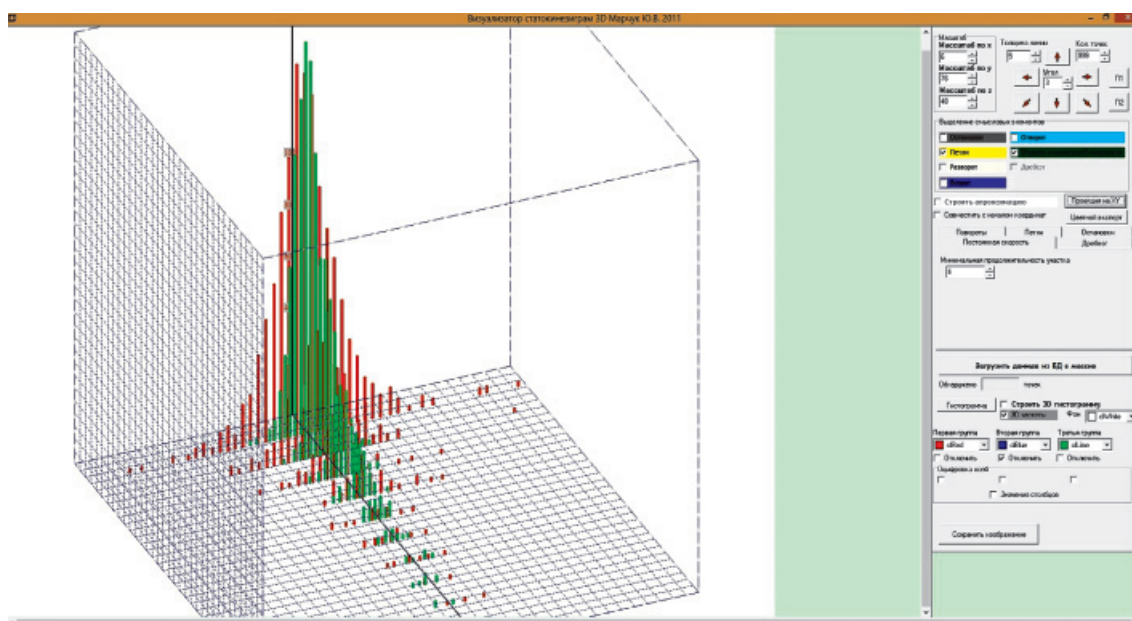


Рис. 2. Частота появления интервалов движения длительностью Δt_i (ось X) с постоянной скоростью V_i (ось Y) во фронтальной плоскости у обследуемого без выявленных патологий (зеленый цвет) и обследуемого с идиопатическим сколиозом I ст. (красный цвет)

Материалы и методы исследования

В обследовании приняло участие 324 человека в возрасте от 6 до 75 лет. Из них 140 человек (контрольная группа) без выявленной патологии (в том числе: 15 – в возрасте 6–8 лет; 42 – в возрасте 18–22 года; 31 – в возрасте 30–45 лет; 28 – в возрасте 50–60), 26 больных с посттравматическим остеоартрозом голеностопных суставов, 36 больных с деформирующим остеоартрозом коленных суставов, 54 больных с деформирующим остеоартрозом тазобедренных суставов, 16 больных ДЦП, 22 больных идиопатическим сколиозом I–II степени, 40 больных продольным плоскостопием I–II степени, 12 пациентов с дисметаболическими полинейропатиями нижних конечностей.

Исследования проводились с использованием компьютерного стабиланализатора «Стабилан-01» (ЗАО ОКБ «Ритм», г. Таганрог). Обследование включало проведение стандартного стабилметрического теста продолжительностью 20 секунд. Для повышения достоверности получаемых данных при каждом

обследовании тест повторялся три раза с перерывами в 3–5 минут.

Для больных, проходящих лечение в УНИИТО им. В.Д. Чаклина, тестирование проводилось до операции, на 12 суток после проведения операции, а также через 6 и 12 месяцев.

Для фронтальной и сагиттальной стабилотраграмм, полученных при обследовании, были определены значения новых показателей и сформированы необходимые для дальнейшего анализа выборки результатов. По каждой из стабилотраграмм для фронтальной и сагиттальной координат были выделены интервалы движения центра давления с постоянной скоростью и определены длительность каждого интервала (Δt_i) и скорость на нем (V_i), а также количество интервалов с различными длительностями и скоростями. Результаты были экспортированы в программу обработки биометрических данных «Радикал» [7], с помощью которой были построены диаграммы рассеяния (Δt_i , V_i), и в «Statistica v.6.0», с помощью которых были получены гистограммы, характеризующие распределения интервалов (Δt_i , V_i), длитель-

ностей (Δt_i) и скоростей (V_i) и определены значения числовых параметров.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные в результате обработки данных пассивных стабилметрических тестов для обследуемых без выявленных па-

тологий («здоровые», «норма») из четырех разновозрастных групп, трехмерные гистограммы распределения интервалов движения с постоянной скоростью (Δt_i , V_i) имеют повторяющуюся при всех измерениях форму, одинаковую как для фронтальной (X), так и для сагиттальной (Y) координат (рис. 3, а, б).

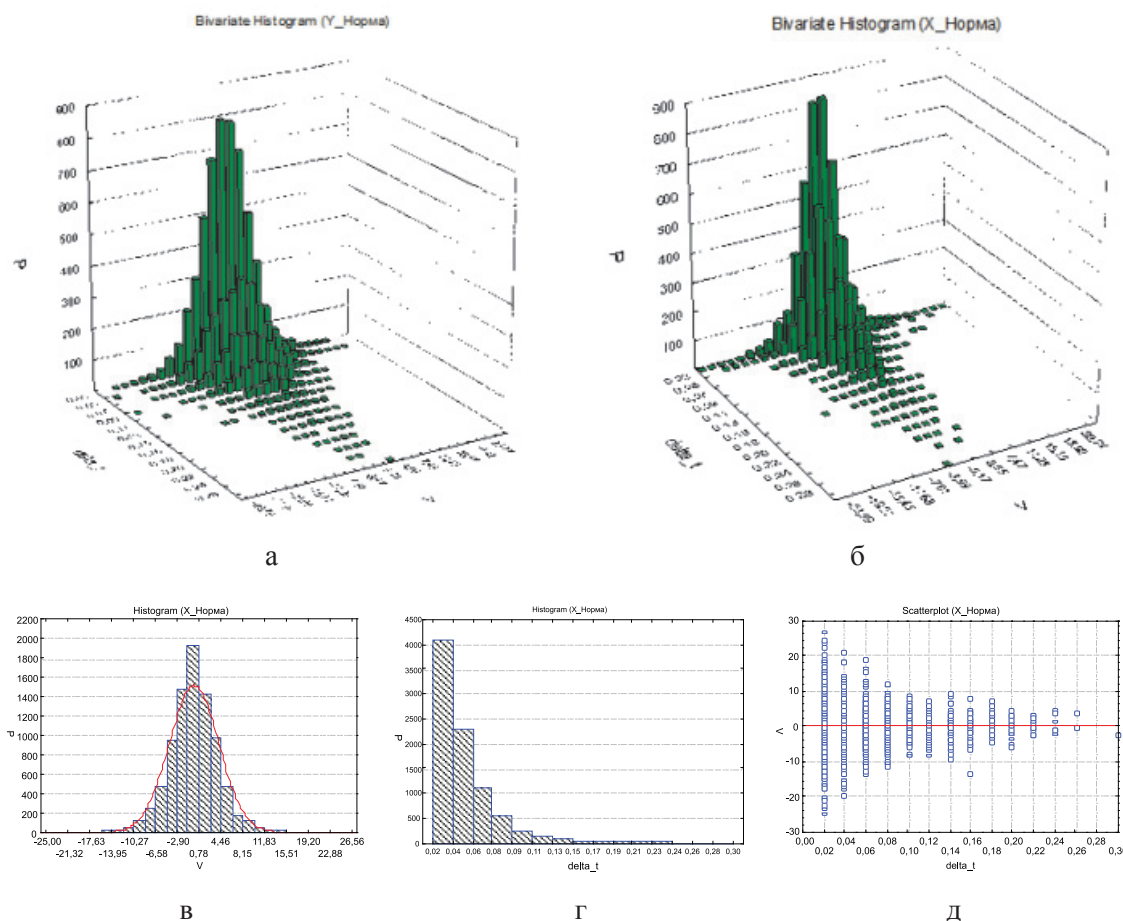


Рис. 3. Частота появления интервалов движения с постоянной скоростью при трехкратном проведении стабилметрического теста обследуемым без выявленных патологий для сагиттальной (а) и фронтальной (б) плоскостей, гистограммы распределения скоростей (в), длительностей интервалов (г) и диаграмма рассеяния интервалов (д)

Основными визуальными признаками экспериментально выявленной формы являются колоколообразный вид сечений распределения по $\Delta t_i = \text{const}$ и гистограммы скоростей в целом (рис. 3, в), монотонное убывание значений в сечениях по $V_i = \text{const}$, и гистограммы длительностей интервалов в целом (рис. 3, г); симметрия фигуры относительно секущей $V = 0$. Одинаковы по виду и симметричны относительно оси Δt_i диаграммы рассеяния интервалов (Δt_i , V_i), являющиеся проекцией гистограммы на плоскость (Δt_i , V_i), см. рис. 3, д.

Множество точек диаграммы рассеяния ограничено сверху и снизу монотонно убывающими гиперболическими функциями. Точный вид распределения, наиболее подходящего для аппроксимации гистограмм скоростей для фиксированных длительностей Δt_i – первое предельное распределение экстремальных значений [6].

Для аппроксимации зависимости, выявленной для здоровых обследуемых, в настоящее время используется функция вида

$$\mu(V, \Delta t) = k_1 \cdot \exp(-k_2 \cdot (V \cdot \Delta t)^2) / \Delta t,$$

где k_1 и k_2 определяются индивидуально.

Пример поверхностей гистограммы, полученной при тестировании одного об-
следуемого, и аппроксимирующей функции приведены на рис. 4.

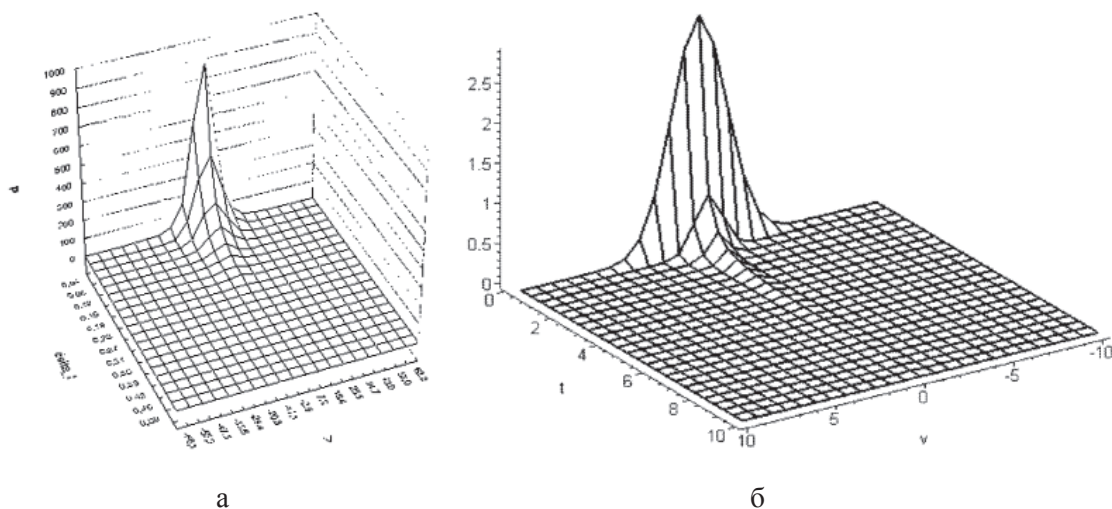


Рис. 4. Поверхности:
а – гистограммы частоты появления интервалов движения с постоянной скоростью у здорового обследуемого; б – аппроксимирующей функции

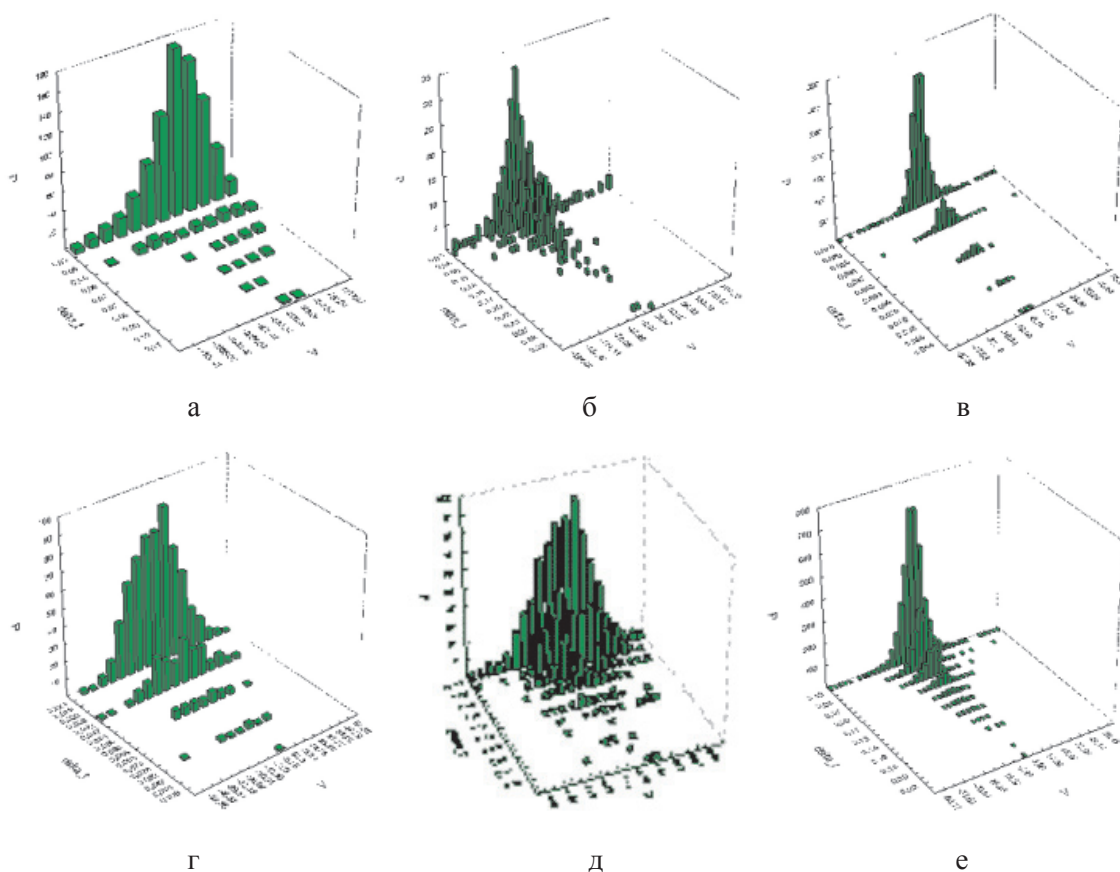


Рис. 5. Частота появления интервалов движения с постоянной скоростью во фронтальной плоскости для обследуемых с различными диагнозами:
а – сенситивная атаксия; б – ДЦП, спастическая диплегия; в – ДЦП, спастический гемипарез;
г – деформирующий остеоартроз коленных и тазобедренных суставов; д – посттравматический остеоартроз таранно-пяточного сустава; е – идиопатический сколиоз II степени

Предлагается использовать найденную и параметризованную для обследуемых без выявленных патологий функциональную зависимость в качестве феноменологической модели идеального поддержания равновесия при отсутствии целенаправленного движения. Данная модель может быть использована как в качестве эталона для сравнения с результатами тестирования пациентов с нарушенными движениями, что снимает неопределенность понятия «нормы», так и для верификации концептуальных моделей [1, 2, 3, 4, 8, 11].

Визуально общий вид формы огибающей поверхности сохраняется и для пациентов со всеми рассмотренными диагнозами при различной тяжести проявления функциональной патологии (рис. 5), вплоть до 2-х предельных случаев с точки зрения удержания равновесия (рис. 5, а, б). Пациенты (выраженная сенситивная атака и гемиплегическая форма ДЦП) с трудом могли стоять в течение 20 секунд. Фактически для них ни разу не удалось при одном обследовании повторить тест, хотя стан-

дартное обследование подразумевает трехкратное прохождение данного теста с интервалом от 3 до 30 минут.

Полученные данные позволяют высказать предположение, что наличие экспериментально обнаруженной формы, определяющей частоту появления интервалов неизменного движения, является фундаментальным (необходимым) свойством процесса удержания равновесия при отсутствии целенаправленного движения.

При сопоставлении результатов, полученных для пациентов с различными диагнозами, и данных обследований, проводимых традиционными методами до и после лечения, была подтверждена связь временных параметров трехмерной гистограммы с нервной составляющей процесса движения, а скоростных – с мышечной, при этом характеристики диапазонов скоростных характеристик для отдельных длительностей интервалов оказались сопоставимы анатомически выявляемым особенностям костно-суставного аппарата пациента.

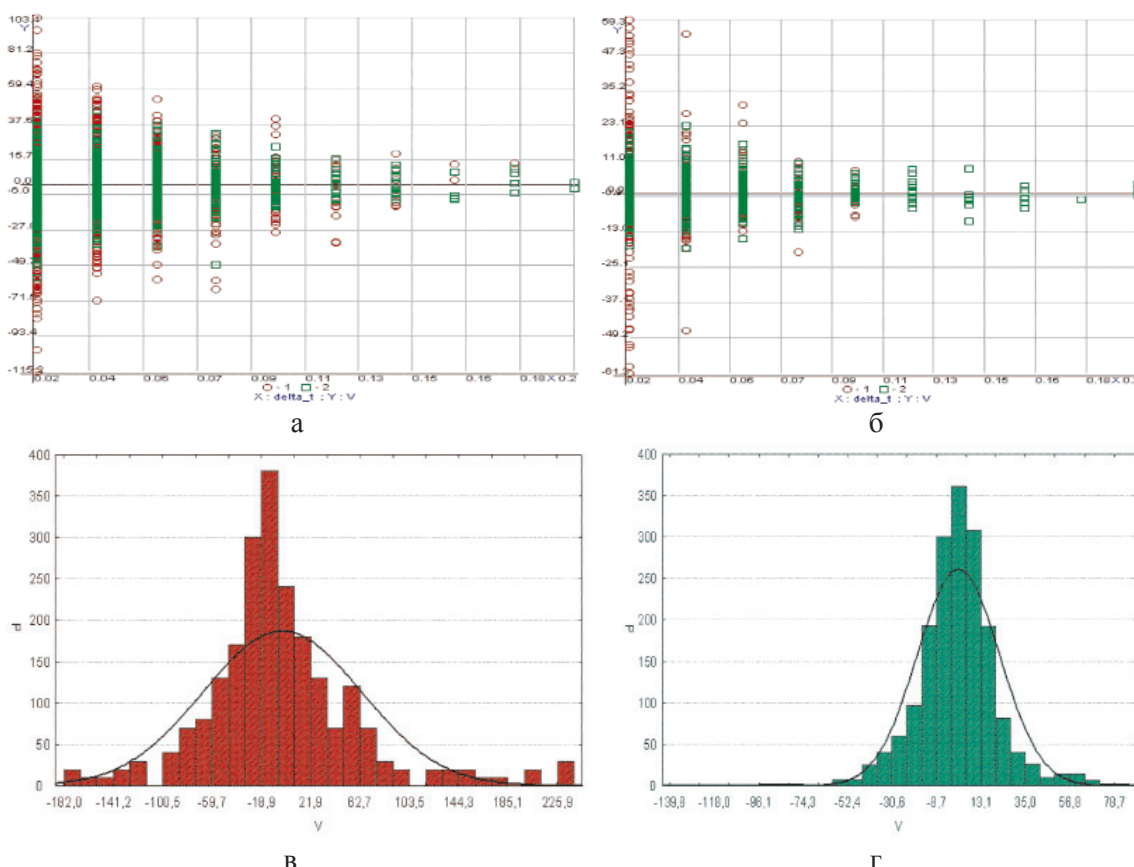


Рис. 6. Изменение характеристик процесса удержания равновесия:
а – частичное восстановление симметрии диапазонов скоростей относительно оси δt_1 после 4 операций эндопротезирования коленных и тазобедренных суставов; б – частичное восстановление количества длительностей интервалов у пациента 3. с гемиплегической формой ДЦП после периапериартеральной криосимпатодеструкции; в и г – сечения $V_i = 0,02$ до и после периапериартеральной криосимпатодеструкции пациента М. с ДЦП (спастическая диплегия).
Красный цвет – состояние до лечения, зеленый – после

Таким образом, появляется возможность детализации имеющих место двигательных расстройств, связанной с их декомпозицией на функциональную и/или анатомическую патологию костно-суставной, мышечной и нервной подсистем. Анатомическим и обуславливаемым ими функциональным нарушениям костно-суставного аппарата соответствует асимметрия относительно нулевых значений середин диапазонов изменения скоростей для интервалов определенных длительностей (рис. 6, а) или характерные нарушения формы трехмерных гистограмм в целом (рис. 5, г, д).

Функциональным нарушениям в нервной системе соответствуют изменения формы гистограмм, связанные с длительностями интервалов, причем уменьшение количества длительностей интервалов свидетельствует о функциональной недостаточности нервной системы в целом (рис. 5, в; 6, б), а отсутствие интервалов определенной длительности, либо нарушение колоколообразной формы гистограмм скоростей для них свидетельствует об отсутствии рефлекторного кольца с соответствующим периодом или их параметрической патологии (рис. 5, а, б; 6, в, г). Функциональным нарушениям в мышечном аппарате соответствуют изменения диапазонов разброса значений скоростей как для всех интервалов, так и для отдельных длительностей интервалов, причем уменьшение диапазонов для всех интервалов относительно нормы свидетельствует о мышечном дефиците.

Заключение

Форма поверхности частоты появления интервалов движения с постоянной скоростью, за которой в процессе исследований закрепилось название – «нормалоид», в настоящее время параметрически описывается набором из 93 показателей, 11 показателей для каждого из 8 сечений по оси Δt ($\Delta t = 0,02; 0,04; \dots; 0,16$ с) и 5 показателей фиксирующих количества интервалов различных типов для стабилограммы (фронтальной либо сагиттальной) в целом. Используемый набор показателей обеспечил решение всех задач, поставленных в процессе клинической апробации (например: диагностика начальных стадий идиопатического сколиоза; дифференциация и оценка тяжести функциональных нарушений при ДЦП; контроль лечебного процесса при эндопротезировании тазобедренных и коленных суставов; оценка результатов консервативного и хирургического лечения при посттравматическом остеоартрозе таранно-пяточного сустава),

различными методами параметрической обработки данных.

Опыт клинической апробации позволяет сделать вывод, связанный с особенностями использования профильными специалистами различных способов предъявления результатов компьютерной обработки, а именно – визуальное сравнение гистограмм, поверхностей и диаграмм рассеяния, не только наглядно и понятно, благодаря легкости интерпретации (скорости и их изменения – мышцы; локальные дефекты и асимметрии сечений формы – костно-суставный аппарат; количество длительностей интервалов и колоколообразная форма – нервная система), но и позволяет учитывать мелкие структурные особенности поверхности, характеризующие индивидуальную специфику пациента и заболевания, которые не могут быть отображены параметрически в рамках известных на сегодня математических методов обработки данных. Появилась возможность получить статическое, в виде одного трехмерного изображения, представление динамики процесса удержания равновесия, а в случае обработки активных стабилометрических тестов, подразумевающих целенаправленное движение, и процесса движения в целом. Проводя аналогию с рентгенографией, можно сказать, что форма нормалоида играет роль «скелета» процесса удержания равновесия.

Важным отличием предложенного способа обработки стабилометрических данных от лучевых методов диагностики, обусловленным существованием нормалоида, является непосредственная визуальная презентация на одном изображении особенностей не только костно-суставного аппарата и мышечной системы, но и нервной составляющей процесса движения, нормальному функционированию которой соответствуют: колоколообразный вид сечений нормалоида $\Delta t = \text{const}$, свидетельствующий об отсутствии неврологической патологии на отдельном уровне нервной системы, и необходимое количество различных выявленных длительностей интервалов неизменного движения, а также отсутствие пропусков в их последовательности, подтверждающие функциональную неврологическую полноту, т.е. анатомо-функциональное наличие и эмерджентное взаимодействие всех задействованных в норме для управления движением уровней нервной системы.

Список литературы

1. Бернштейн Н.А. Физиология движения и активность. – М.: Наука, 1990. – 495 с.
2. Братусь А.С., Новожилов А.С., Платонов А.П. Динамические системы и модели биологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 400 с.

3. Витяев Е.Е. Объяснение Теории Движений Н.А. Бернштейна // VII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2005»: сборник научных трудов. – Часть 1. – М., 2005. – С. 234–240.
4. Гаже П.М., Вебер Б. Постурология. Регуляция и нарушения равновесия тела человека. – СПб.: Изд. Дом СПбМАПР, 2008. – 316 с.
5. Гельфанд И.М., Розенфельд Б.И., Шифрин М.А. Очерки о совместной работе математиков и врачей. – М.: Едиториал УРСС, 2011. – 320 с.
6. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. – М.: Мир., 1965. – 460 с.
7. Монтиле А.А., Шавнин С.А., Монтиле А.И. Кластерный и регрессионный анализ изменений количественных морфометрических признаков // Математическая биология и биоинформатика. – 2007. – Т. 2, № 1. – С. 60–65.
8. Исследование хаотических колебаний в нелинейной системе управления поддержанием вертикальной позы тела человека / М.Г. Розенблум, Г.И. Фирсов, Р.А. Кууз, В.Н. Суслов // Вестник научно-технического развития: научно-технический журнал. – 2007. – № 3. – С. 32–42.
9. Скорцов Д.В. Клинический анализ движений, стабилметрия. – М.: АОЗТ «Антидор», 2000. – 192 с.
10. Ташкинов А.А., Вильдеман А.В., Бронников В.А. Индивидуальное прогнозирование двигательного развития у больных детским церебральным параличом на основе подходов статистического анализа // Российский журнал биомеханики. – 2010. – Т. 14, № 2 (48). – С. 69–78.
11. Тяжелов А.А. Анализ стабилотраграмм на основе математической модели тела человека как многозвенной системы / А.А. Тяжелов, Н.Н. Кизилова, В.А. Фищенко [и др.] // Травма. – 2012. – Т. 13, № 4. – С. 17–25.
12. Динамическая стабилизация вертикального положения тела человека / В.И. Усачёв, М.И. Говорун, А.Е. Голованов, М.С. Кузнецов // Известия Южного федерального университета: Технические науки. – 2010. – Т. 110, № 9. – С. 164–169.
13. Юдин Д.Б., Юдин А.Д. Математики измеряют сложность. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. – 192 с.
14. Пат. 2497451 РФ, МПК А 61 В 5/103. Способ диагностики функциональных нарушений опорно-двигательного аппарата / О.Д. Давыдов, А.И. Монтиле, Ю.В. Марчук, Н.Л. Кузнецова; ФГБУ «Уральский НИИТО им. В.Д. Чаклина» МЗ РФ. – № 2012124615/14; заявл.14.06.2012; опубл.10.11.2013, Бюл. № 31. – 16 с.
5. Gel'fand I.M., Rozenfel'd B.I., Shifrin M.A. Ocherki o sovместnoy rabote matematikov i vrachej. M.: Editorial URSS, 2011. 320 p.
6. Gumbel' Je. Statistika jekstremal'nyh znachenij. M.: Mir., 1965. 460 p.
7. Montile A.A., Shavnin S.A., Montile A.I. Klasternyj i regressionnyj analiz izmenenij kolichestvennyh morfometricheskikh priznakov // Matematicheskaja biologija i bioinformatika. 2007. Tom 2, no. 1. pp. 60–65.
8. Issledovanie haoticheskikh kolebanij v nelinejnoj sisteme upravlenija podderzhanijem vertikal'noj pozy tela cheloveka / M.G. Rozenbljum, G.I. Firsov, R.A. Kuuz, V.N. Suslov // Vestnik nauchno-tehnicheskogo razvitiya: nauchno-tehnicheskij zhurnal. 2007. no. 3. pp. 32–42.
9. Skvortcov D.V. Klinicheskij analiz dvizhenij, stabilometrija. M.: AOZT «Antidor», 2000. 192 p.
10. Tashkinov A.A., Vil'deman A.V., Bronnikov V.A. Individual'noe prognozirovanie dvigatel'nogo razvitiya u bol'nyh detskim cerebral'nym paralichom na osnove podhodov statisticheskogo analiza // Rossijskij zhurnal biomehaniki. 2010. Tom 14, no. 2 (48). pp. 69–78.
11. Tjazhelov A.A. Analiz stabilogramm na osnove matematicheskoy modeli tela cheloveka kak mnogozvennoj sistemy / A.A. Tjazhelov, N.N. Kizilova, V.A. Fishhenko [i dr.] // Travma. 2012. T. 13, no. 4. pp. 17–25.
12. Dinamicheskaja stabilizacija vertikal'nogo polozhenija tela cheloveka / V.I. Usachjov, M.I. Govorun, A.E. Golovanov, M.S. Kuznecov // Izvestija Juzhnogo federal'nogo universiteta: Tehnicheskie nauki. 2010. T. 110, no. 9. pp. 164–169.
13. Judin D.B., Judin A.D. Matematiki izmerjajut slozhnost'. M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2014. 192 p.
14. Pat. 2497451 RF, MPK A 61 V 5/103. Sposob diagnostiki funkcional'nyh narushenij oporno-dvigatel'nogo apparata / O.D. Davydov, A.I. Montile, Ju.V. Marchuk, N.L. Kuznecova; FGBU «Ural'skij NIITO im. V.D. Chaklina» MZ RF. no. 2012124615/14; zajavl.14.06.2012; opubl.10.11.2013, Bjul. no. 31. 16 p.

Рецензенты:

Герасимов А.А., д.м.н., профессор, зав. кафедрой медицины катастроф, ГБОУ ВПО «Уральская государственная медицинская академия» Минздрава РФ, г. Екатеринбург;
 Борзунов И.В., д.м.н., зам. декана лечебно-профилактического факультета, ГБОУ ВПО «Уральская государственная медицинская академия» Минздрава РФ, г. Екатеринбург;
 Пучиньян Д.М., д.м.н., профессор, зам. директора по науке, ФГБУ «Саратовский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии» Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации, г. Саратов.

Работа поступила в редакцию 15.07.2014.

References

1. Bernshtejn N.A. Fiziologija dvizhenija i aktivnost'. M.: Nauka, 1990. 495 p.
2. Bratus' A.S., Novozhilov A.S., Platonov A.P. Dinamicheskie sistemy i modeli biologii. M.: FIZMATLIT, 2010. 400 p.
3. Vitjaev E.E. Ob#jasenie Teorii Dvizhenij N.A.Bernshtejna // VII Vserossijskaja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Nejroinformatika-2005»: sbornik nauchnyh trudov. Chast' 1. M., 2005. pp. 234–240.
4. Gazhe P.M., Veber B. Posturologija. Reguljacija i narushenija ravnovesija tela cheloveka. SPb.: Izd. Dom SPbMAPR, 2008. 316 p.