

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Ю.В. Марчук<sup>1</sup>, О.Д. Давыдов<sup>1</sup>, А.И. Монтиле<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственное автономное учреждение здравоохранения Свердловской области «Многопрофильный клинический медицинский центр «Бонум» (Екатеринбург)

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет» (Екатеринбург)

**Резюме.** В статье показаны разработанные блоки специализированной медицинской информационной системы, которая позволит на основе объективно измеряемых показателей и данных клинических методов с использованием оригинального алгоритмического и математического обеспечения повысить эффективность диагностики функциональных нарушений опорно-двигательного аппарата и объективной дифференциации функциональных повреждений по опорно-двигательной, мышечной и нервной подсистемам за счет учета индивидуальных особенностей результатов стабиллографических тестов. В информационной системе предлагается использовать дополнительный к системе базовых, векторных и частотных показателей набор признаков, основным понятием которого является интервал неизменного движения – двухкомпонентная величина, характеризующаяся значениями: длительность интервала и постоянная для интервала скорость.

**Ключевые слова:** медицинская информационная система, стабилметрия, опорно-двигательный аппарат.

### **Solving problems of diagnostics of functional disorders of the musculoskeletal system with the use of a specialized medical information system**

Ju.V. Marchuk<sup>1</sup>, O.D. Davydov<sup>1</sup>, A.I. Montile<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Autonomous healthcare institution of Sverdlovsk region "Multi-profile Clinical medical center "Bonum" (Yekaterinburg, Russia)

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ural State Forest Engineering University" (Yekaterinburg, Russia)

**Summary.** The article shows the developed blocks of a specialized medical information system that will allow, on the basis of objectively measured indicators and data from clinical methods using original algorithmic and mathematical support, to increase the effectiveness of diagnosing functional disorders of the musculoskeletal system and objective differentiation of functional injuries by musculoskeletal, muscular and nervous subsystems by taking into account the individual characteristics of the results of stabilo-

graphic tests. In the information system, it is proposed to use an additional set of features to the system of basic, vector and frequency indicators, the main concept of which is the interval of constant movement – a two-component quantity characterized by the values: the duration of the interval and the speed constant for the interval.

**Keywords:** medical information system, stabilometry, musculoskeletal system.

## **Введение**

Одним из современных и перспективных методов исследования функционального состояния двигательной системы человека является стабилметрия [1, 2].

Актуальность рассматриваемой тематики, на фундаментальном уровне относящейся к разработке математических моделей физиологии движения, обусловлена в первую очередь потребностями клинической практики, связанными с потенциальной возможностью использовать результаты стабилметрических исследований для решения задач диагностики, дифференциальной диагностики и оценки эффективности лечебных мероприятий.

Известные в настоящее время показатели и критерии характеризуют статокинезиограмму 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 статокинезиограмм. Для получения нового набора показателей, а также их визуализации разработаны блоки специализированной медицинской информационной системы (СМИС).

## **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 [3].

Исследования проводятся с использованием компьютерного стабиланализатора «Стабилан-01» (ЗАО «ОКБ «Ритм», г. Таганрог) [4].

Обследование включает проведение стандартного стабилметрического теста продолжительностью 20 секунд. Для повышения достоверности получаемых данных при каждом

обследовании тест повторяется три раза с перерывами в 3-5 минут. Для больных, проходящих лечение в УНИИТО им. В.Д. Чаклина, тестирование проводилось до операции, на 12 сутки после проведения операции, а также через 6 и 12 месяцев.

Данные об обследуемых занесены в разработанную базу данных СМИС для анализа. Определение значений первичных показателей, формирование выборок по различным специализированным для задач основаниям, определение значений вычисляемых показателей и визуализации осуществляются с помощью СМИС.

Результаты экспортируются в программу обработки биометрических данных «Радикал» [5], «Statistica v.7.0», «Access 2007» и «Excel 2007»

### **Результаты и их обсуждение**

Разработана формы ввода данных для обследуемых, модуль загрузки результатов их тестирования, из внешних программ (стабилоанализатор «Стабилан-01») и элементами визуализация. (рис.1).

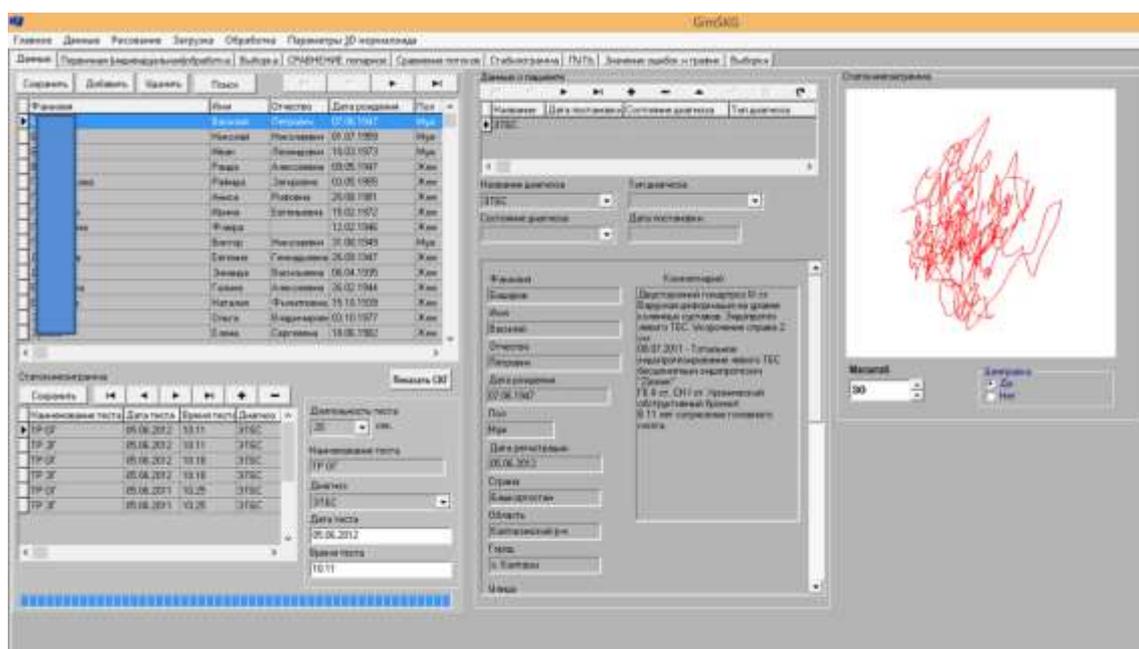


Рис. 1 Главная форма программы

На втором этапе может быть применен оригинальный алгоритм обработки данных статокинезиограмм. На рис. 2 приведен пример применения линеаризации по скорости движения и времени (показаны участки движения с близкими скоростями, которые алгоритмом заменяются на интервалы неизменного движения), используемого в СМИС для получения интервальных показателей.

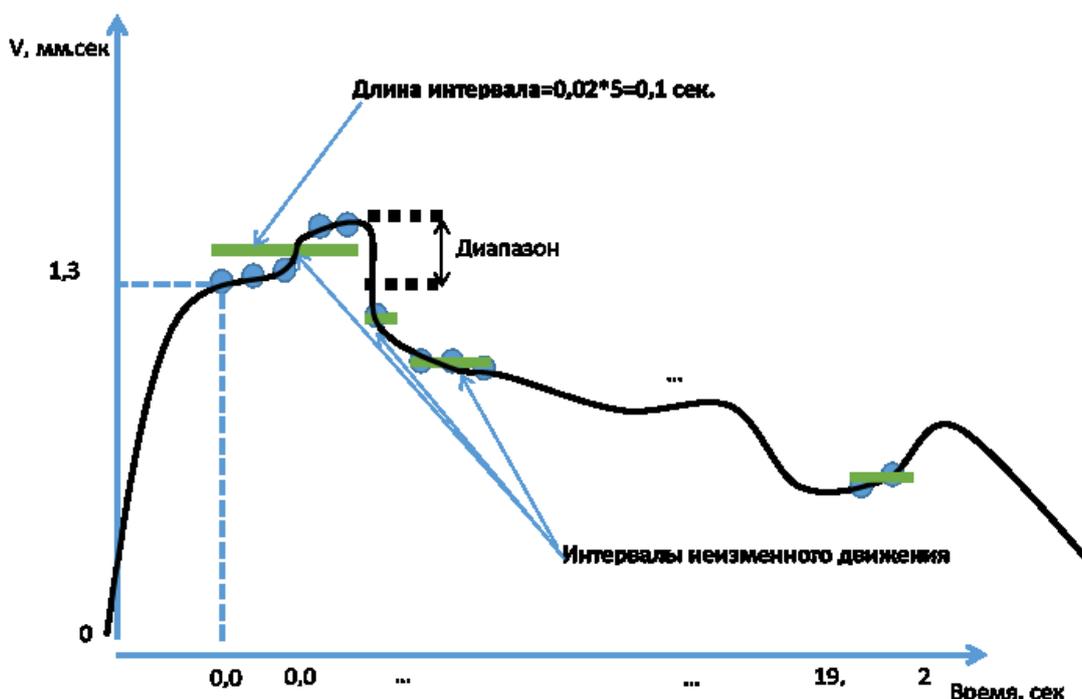


Рис. 2 Интервальные показатели разной длительности

Интерфейс данного алгоритма реализован в программе в виде набора функций: ручная настройка диапазона сглаживания; автоматического поиска диапазона; графическая визуализации применения настроек для оценки правильности аппроксимации в трех шкалах и прочее (рис.3).

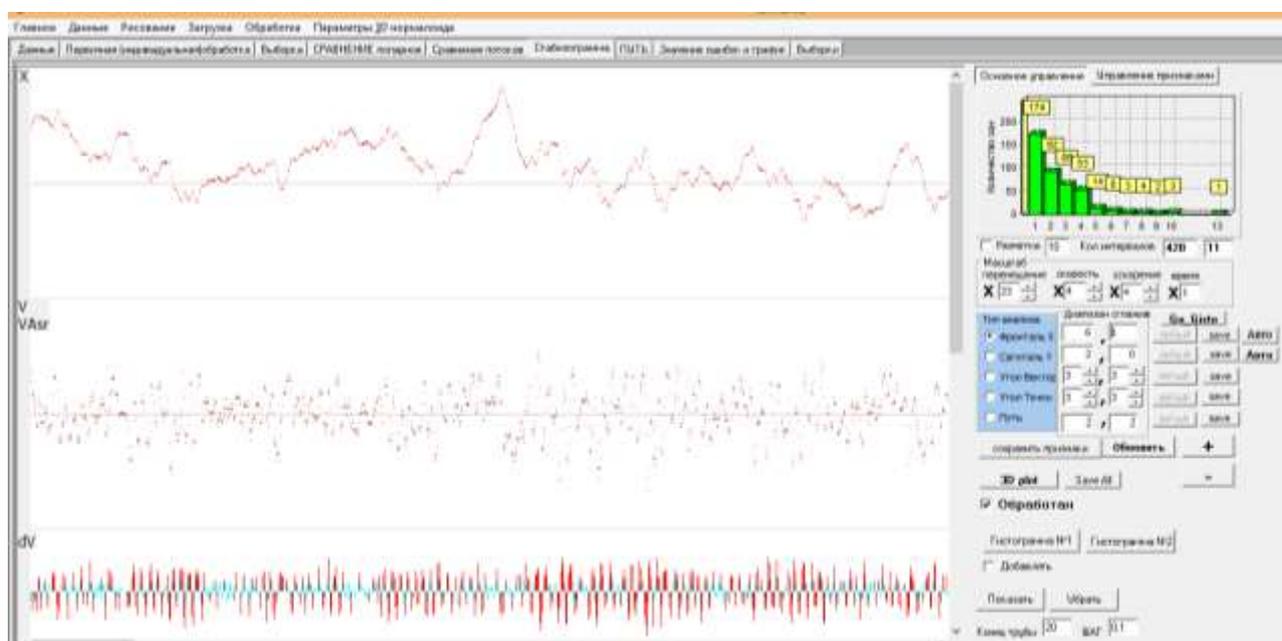


Рис. 3 Форма комплексного оценивания стабилметрического теста

На рис. 4 приведен пример «неправильной» аппроксимации при неудачной настройке диапазона «сглаживания».

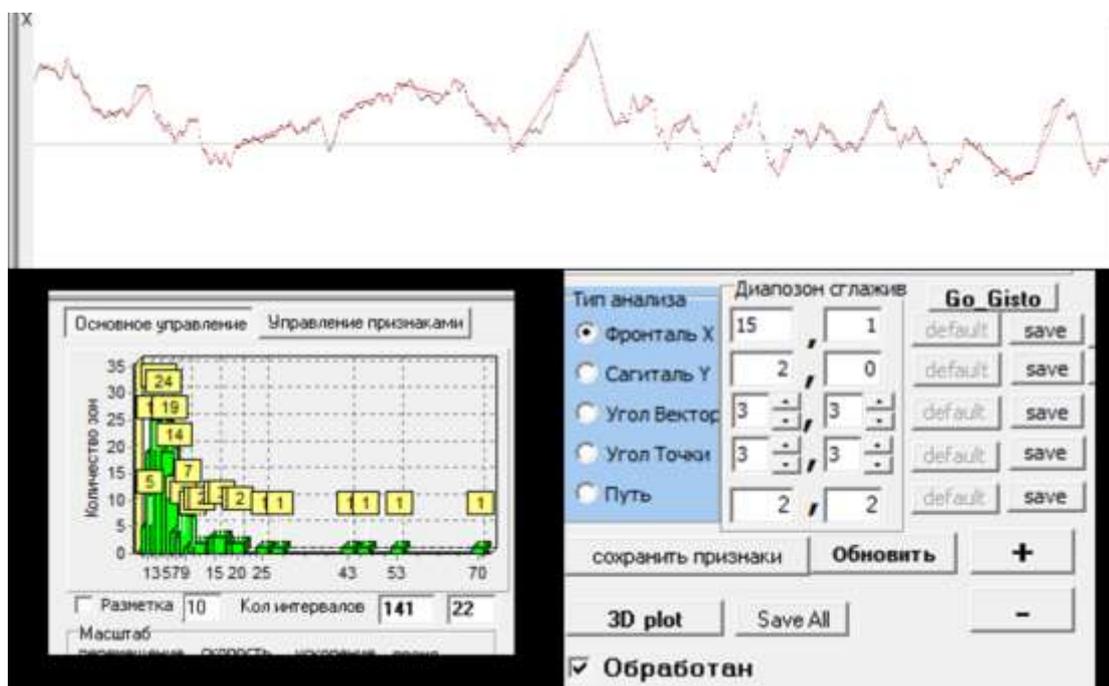


Рис. 4 Пример «неправильной» аппроксимации при выборе большого диапазона «сглаживания»

Комплексное оценивание результата отдельного стабилметрического теста для каждого обследуемого 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 типов, каждая из которых характеризуется мгновенным изменением скорости [6].

Временные показатели предложенной системы позволяют делать заключения о нервной составляющей процесс 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.

С помощью СМИС выделяются:

- временные интервалы движения ( $\Delta t$ ) с постоянной скоростью ( $V$ ) по фронтальной и сагиттальной координатам;
- временные интервалы движения ( $\Delta t$ ) с постоянной линейной ( $V$ ) и/или угловой ( $\Omega$ ) скоростью на плоскости (для статокинезиограммы в целом),  
и определяются:

- линейные скорости ( $V$ ) перемещения центра давления стоп на опорной поверхности, а также по фронтальной и сагиттальной координатам в пределах каждого интервала неизменного движения;
- расстояния ( $L$ ) и углы ( $\varphi$ ), проходимые за каждый из интервалов;
- величины мгновенных изменений скоростей ( $\Delta V$ ) на границах интервалов;
- количество длительностей интервалов;
- количества интервалов с различными скоростями для каждой длительности

В СМИС реализованы модули визуализации результатов анализа полученного массива новых признаков (рис. 5). Особенностью данного модуля является широкий набор настроек для получения различных срезов, проекций и сечений, а также 3D визуализация гистограмм.

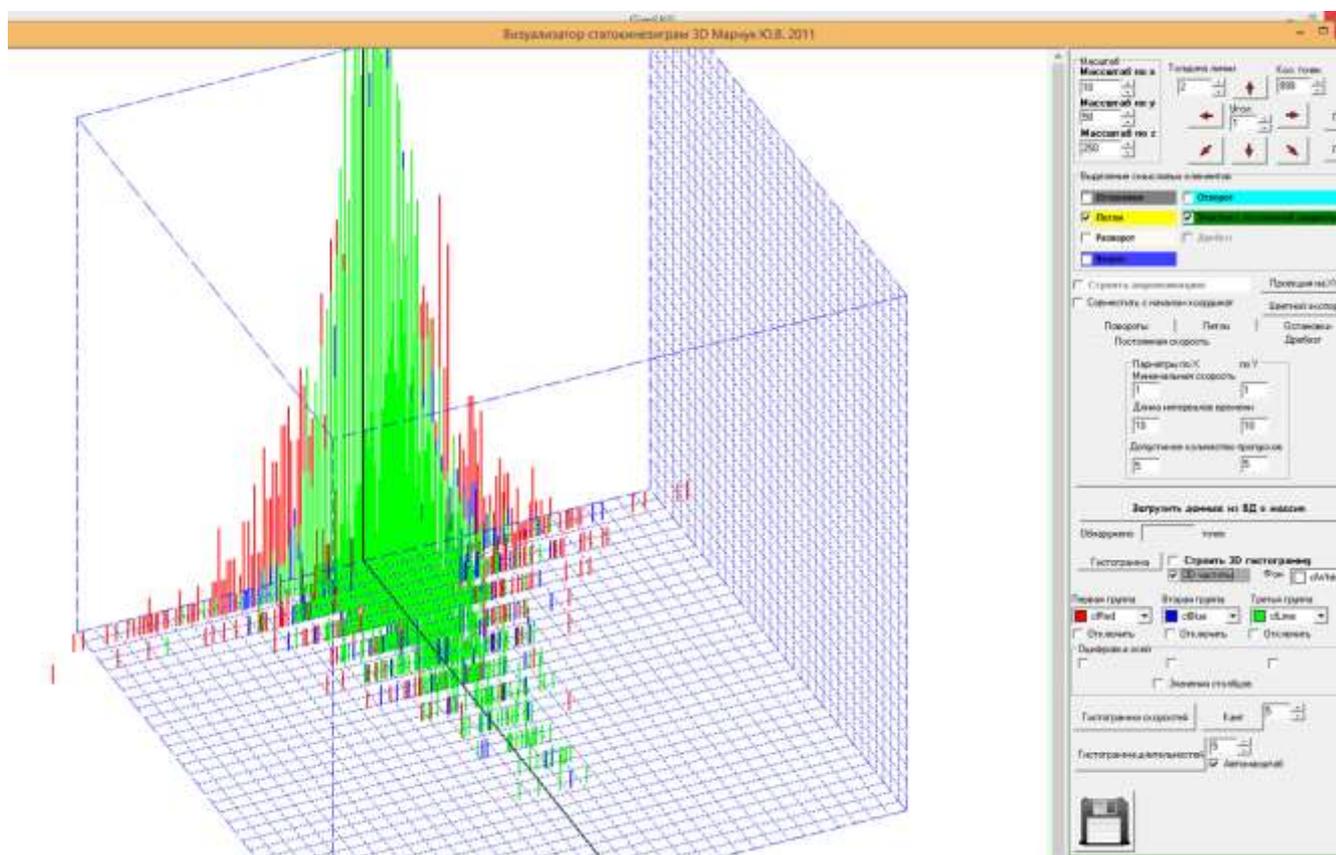


Рис. 5 3 D визуализация результатов.

При интерпретации визуализации полученного массива новых признаков сделаны следующие выводы:

- **изменениям в нервной системе** соответствуют изменения формы поверхности трехмерной гистограммы, связанные с длительностями интервалов, причем уменьшение диапазона интервалов свидетельствует о функциональной недостаточности нервной системы в целом, а отсутствие интервалов определенной длительности либо нарушение

колоколообразной формы гистограмм скоростей для них свидетельствует об отсутствии замкнутых рефлекторных колец с соответствующими этим длительностям периодами циклов или их патологической перестройке соответственно;

- **изменениям в мышечном аппарате** соответствуют изменения диапазонов разброса значений скоростей как для всех интервалов, так и для отдельных дискретов - длительностей, причем уменьшение диапазонов для всех интервалов относительно нормы свидетельствует о мышечном дефиците;

- **изменениям костно-суставного аппарата** соответствует уменьшение или увеличение асимметрии формы трехмерной гистограммы в целом или смещения от нулевого значения середин диапазонов изменения скоростей для интервалов определенных длительностей, причем асимметрия или смещения свидетельствует о патологии костно-суставного аппарата.

Сохранение формы и параметрические отличия гистограмм распределения интервалов движения с постоянной скоростью ( $\Delta t, V$ ) показаны на рис 6.

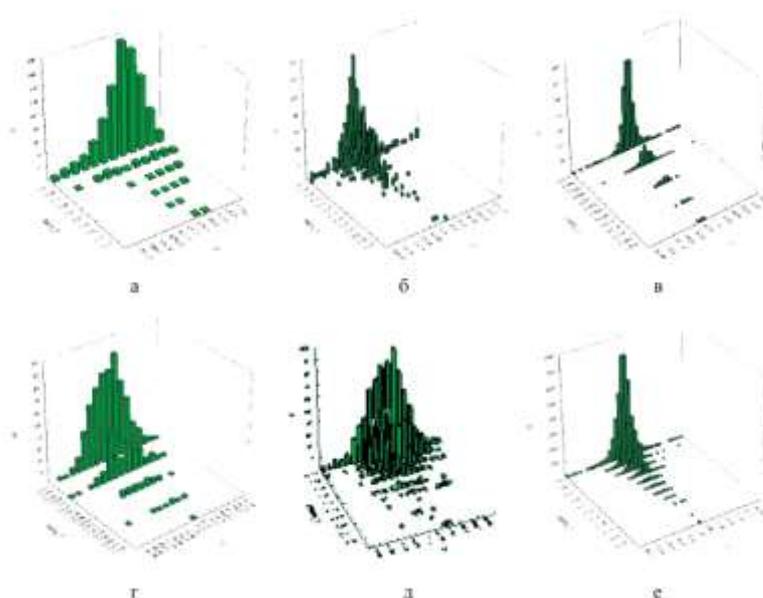


Рис. 6. Частота появления интервалов движения с постоянной скоростью во фронтальной плоскости для обследуемых с различными диагнозами: а – сенситивная атаксия; б – ДЦП, спастическая диплегия; в – ДЦП, спастический гемипарез; г – деформирующий остеоартроз коленных и тазобедренных суставов; д – посттравматический остеоартроз таранно-пяточного сустава; е – идиопатический сколиоз II степени

Трехмерные гистограммы распределения интервалов движения ( $D_{ti}, V_i$ ) имеют повторяющуюся при всех измерениях форму – одинаковую для фронтальной (X) и сагиттальной

(Y) координат. Вид огибающей поверхности сохраняется для пациентов со всеми диагнозами. Поверхность аппроксимируется функцией вида:  $\mu(V, \Delta t) = k_1 * \exp(-k_2 * (V * \Delta t)^2) / \Delta t$ . [1].

Где  $\Delta t_i$  - длительность интервалов;  $V_i$  - скорости;  $\Delta V_i$  - мгновенные изменения скоростей.  $k_1$   $k_2$  – коэффициенты, определяются индивидуально.

## ВЫВОДЫ

Разработанная СМИС:

- может быть использована, как при оценке функционального состояния двигательного системы в целом, так и для дифференциации по костно-суставной, мышечной и нервной подсистемам;

- может быть рекомендована для повышения объективности диагностики, дифференциальной диагностики, определения тяжести патологий, контроля процесса восстановления и оценки конечных результатов лечения;

- позволит выявить легко интерпретируемую феноменологическую модель поддержания равновесия при отсутствии целенаправленного движения.

- Проведенное исследование указывает на необходимость дальнейших углубленных работ в поиске более информативных стабилметрических параметров и развития СМИС.

## Список литературы

1. Давыдов О.Д. Новые показатели стабилметрических измерений и их использование для математического моделирования нормального и патологического функционирования опорно-двигательной, мышечной и нервной систем / О.Д. Давыдов, А.И. Монтиле, Ю.В. Марчук [и др.] // Літопис травматології та ортопедії. - 2014. - № 1-2. - С. 247. - Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Lto\\_2014\\_1-2\\_75](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Lto_2014_1-2_75)
2. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений, стабилметрия. – М.: АОЗТ «Антидор», 2000. – 192 с.
3. Давыдов О.Д. Стабилметрический инвариант удержания равновесия в норме и патологии / О.Д. Давыдов, А.И. Монтиле, Ю.В. Марчук [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 7-5. – С. 931-939; URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34803> (дата обращения: 24.03.2021).
4. «Стабилан-01». Стабилоанализатор компьютерный с биологической обратной связью. Руководство пользователя. ЗАО «ОКБ «Ритм». Таганрог; 2009.

5. Монтиле А.А. Кластерный и регрессионный анализ изменений количественных морфометрических признаков / А.А. Монтиле, С.А. Шавнин, А.И. Монтиле // Математическая биология и биоинформатика. – 2007. – Т. 2, № 1. – С. 60–65.
6. 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 [и др.]; ФГБУ «Уральский НИИТО им. В.Д. Чаклина» МЗ РФ. – № 2012124615/14; заявл.14.06.2012; опубл.10.11.2013, Бюл. № 31. – 16 с.