

На правах рукописи



Веденина Анна Сергеевна

**МЕТОД И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ СКРИНИНГОВОЙ ОЦЕНКИ СТРУКТУРНОГО И
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ**

Специальность:

05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2016

Работа выполнена на кафедре биотехнических систем Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»

Научный руководитель –

Смирнова Людмила Михайловна, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Санкт-Петербургский научно-практический центр медико-социальной экспертизы, протезирования и реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, ведущий научный сотрудник отдела биомеханических исследований.

Официальные оппоненты:

- Гельман Виктор Яковлевич, доктор технических наук, профессор, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, профессор кафедры медицинской информатики и физики;

- Гайдук Александр Александрович, доктор медицинских наук, доцент, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, заведующий кафедрой лечебной физкультуры, физиотерапии и врачебного контроля.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Защита диссертации состоится 26 января 2016 г. в 16.00 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.238.10 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина) и на сайте eltech.ru.

Автореферат разослан «__» ноября 2015 г.

Ученый секретарь совета по защите докторских и кандидатских диссертаций



Садыкова Е.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В последние годы все большее число взрослых и детей страдает заболеваниями опорно-двигательного аппарата (ОДА) (М. С. Чаруйская, 2005 г.; Е. М. Дутикова, 2007 г.; Г. Н. Голубева, 2008 г. и др.). По данным Всемирной организации здравоохранения на 2012 г. заболеваниями ОДА в Европейских странах подвержены от 70% до 75% людей. В России эта цифра достигает 85%–90%.

Особенно высокий процент патологий ОДА относится к структурным и функциональным нарушениям нижних конечностей (НК). Среди таких нарушений особенно часто встречается плоскостопие, изменения формы НК (О- и Х-образные) (В.В. Письменский, 2004), асимметрия их длины 10-20 мм (В.В. Письменский, 2004, Е.С. Полуэктов, 2013). При более существенной асимметрии наблюдается нарушение опорной функции НК, сопровождающееся компенсаторной асимметрией распределения нагрузки на НК и изменением конфигурации цепи звеньев вышележащих отделов ОДА - перекос таза, искривление позвоночника (А.Ю. Голдырев, 2000 г.; И.Т. Батршин, Т.Н. Садовая, 2007 г.; Д.В. Долганов, И.А. Меньщикова, Э.В. Ершов, 2010 г.; А.А. Гайдук, 2014 г.). Впоследствии это сопровождается болевыми ощущениями в НК, а затем и в позвоночнике. Все это приводит к снижению трудоспособности человека и качества его жизни.

Степень разработанности темы

Анализ причин распространенности заболеваний ОДА указывает на то, что чаще всего они связаны с несвоевременностью выявления и начала лечения патологии, отсутствием профилактических реабилитационных мероприятий. Учитывая высокую встречаемость структурно-функциональных нарушений состояния НК, включая стопы, у детей и взрослых, большое значение для их профилактики и лечения или замедления развития нарушений имеют скрининговые обследования.

Для оценки структурных и функциональных нарушений НК за рубежом и в России разработаны и используются методы и инструментальные средства, которые можно разделить на две большие группы: первая – позволяет исследовать форму НК, вторая – их функции.

В стремлении к повышению доказательности обследования и с учётом базовой специальности особое значение для данного исследования приобретают инструментальные методы.

Для количественной оценки структурных изменений НК применяются следующие инструментальные методы: для стопы – подометрия (анализ геометрических параметров стопы ее измерением), плантография (анализ формы опорного отпечатка стопы), рентгеноподография (анализ геометрических параметров скелета стопы); для анализа геометрических параметров формы НК - рентгенография и фотоанализ (К.Н. Сергиенко, 2001г.; Н.Ю. Карабанова, В.М. Волкова, Л.М. Смирнова, В.В. Романов, 2004 г.; К.В. Гавриков, С.И. Калужский, А.И. Перепелкин, 2007 г.; С.В. Лепеша, М.И. Игнатовский, А.И. Свиридёнок, 2008 г.; В.Н. Проценко, 2010 г.; Э.В. Земцовский, Л.М. Смирнова, В.В. Романов, 2011 г.; С.В. Василевич, Я.Б. Гольдберг, А.В. Арсеньев, М.Г. Дудин, 2014 г. и др.).

Из этого перечня инструментальных методов интерес для скрининговой оценки состояния НК, включая стопу, представляют фотоанализ формы НК, подометрия и плантография. Данные методы не требуют больших затрат времени и большой площади помещения для обследований, без лучевой нагрузки на пациента, что важно при скрининговых обследованиях. Однако в том виде, как они используются в настоящее время, эти методы не позволяют исследовать функциональные нарушения НК.

Для исследования опорно-двигательных функций НК применяются другие методы – основанные на анализе ходьбы, а именно: зональная динамоплантография (анализ распределения нагрузки по зонам стопы при ходьбе), балансография в плоскости опоры (анализ баланса нагрузки в опорном контуре стоп), циклография переката и шага (анализ временных характеристик шага и переката через стопу), циклодинамография ходьбы (анализ изменения нагрузки на стопы в цикле шага), бароплантография (анализ распределения давления по плантарной поверхности стоп), гониография в цикле шага (анализ функции углов в суставах), ихнография (анализ положения стоп в опоре при ходьбе) (А.В. Саранцев, И.Б. Лисица, И.Ш. Морейнис, 1987 г.; Д.В. Скворцов, 1996 г.; К.Н. Сергиенко, 2001 г.; С.Н. Деревцова, 2010 г.; Д.В. Похабов, 2012 г.; Л.М. Смирнова, 2012 г. и др.).

Однако эти методы значительно более сложные, дорогие и требующие больших затрат времени на проведение обследования и обработку биомедицинской информации (БМИ), что противоречит требованиям к скрининговым обследованиям.

В связи с актуальностью проведения скрининговых обследований населения для своевременного выявления структурных и функциональных нарушений НК, с одной стороны, и отсутствием необходимого для этого медицинского оборудования, с другой стороны, была определена цель исследования и его задачи.

Цель исследования: повышение объективности скрининговой оценки структурных и функциональных характеристик нижней конечности.

Объектом исследования является информационно-измерительная биотехническая система для комплексной скрининговой оценки состояния нижней конечности.

Предметом исследования являются система показателей и метод комплексной скрининговой оценки состояния нижней конечности.

Задачи исследования:

1. Провести анализ научных и информационных источников по методам и техническим средствам для выявления структурных и функциональных нарушений нижней конечности человека и определить проблемы их использования при скрининговых обследованиях;
2. Разработать систему инструментальных показателей количественной оценки структурных и функциональных характеристик нижней конечности при скрининговом обследовании детей и взрослых;
3. Разработать структурно-функциональную модель системы "пациент – окружающая среда", отражающую влияние экзогенных и эндогенных

факторов (по отношению к тестируемой конечности) на показатели структурного и функционального состояния нижней конечности;

4. Обосновать способ регистрации биомедицинской информации и разработать медико-технические требования к информационно-измерительной системе для скрининговой оценки нарушений состояния нижней конечности и структурно-функциональную схему такой системы;
5. Обосновать способ обработки биомедицинской информации для количественной оценки показателей структурного и функционального состояния нижней конечности при скрининговых обследованиях;
6. Обосновать схему регистрации биомедицинской информации с пациента на основе структурно-функциональную модель системы "пациент – окружающая среда" и разработать методику биомеханического обследования для скринингового выявления структурных и функциональных нарушений нижних конечностей с учётом модели системы "пациент – окружающая среда", способа и схемы регистрации биомедицинской информации;
7. Апробировать предложенные методические и технические решения проведением экспериментальных биомеханических обследований пациентов и с учётом результатов апробации разработать алгоритм скрининговой инструментальной оценки структурных и функциональных нарушений нижней конечности у детей и взрослых.

Научная новизна исследования состоит в следующем:

– создана новая система показателей, которая позволяет при скрининговых обследованиях объективно и доказательно (с количественной оценкой и архивами электронных биомедицинских изображений) выявлять патологические изменения не только размеров и формы нижней конечности и стопы, но и нарушения их функции благодаря обоснованному применению биомеханических тестов (рычажного, Штритера и дозированной нагрузки на стопы) в процессе выполнения компьютерной плантографии и подометрии;

– разработана структурно-функциональная модель биомеханической системы "пациент – окружающая среда", отражающая влияние эндогенных и экзогенных (по отношению к тестируемой конечности) факторов на показатели состояния нижней конечности и позволяющая определить требования к условиям проведения обследования для их скрининговой оценки;

– сформулированы медико-технические требования к информационно-измерительной системе для оценки структурных и функциональных нарушений нижней конечности в режиме скринингового обследования пациента и структурно-функциональная схема такой системы;

– получены новые экспериментальные результаты плантоподометрических обследований пациентов методом компьютерного планшетного оптического сканирования стоп с применением рычажного теста, теста Штритера и теста с дозированной нагрузкой на стопы, подтверждающие целесообразность использования этих методов при скрининговых инструментальных обследованиях детей и взрослых;

– разработана методика и алгоритм скрининговой оценки структурных и функциональных нарушений НК у детей и взрослых на основе разработанного

комплекса показателей с использованием усовершенствованной информационно-измерительной системы.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в том, что полученные в ней результаты развивают методы и технические средства объективной оценки структурного и функционального состояния НК, включая стопу, человека на основе новой системы показателей и с учетом влияния на них экзогенных и эндогенных (по отношению к тестируемой конечности) факторов.

Для разработчиков медицинской техники практическую ценность работы имеют структурная схема, технические требования к информационно-измерительной системе (ИИС) и новые технические решения для ее синтеза, повышающие достоверность результатов скрининговой оценки структурных и функциональных нарушений НК, включая стопу.

Для специалистов в области биомеханики и медицинской диагностики заболеваний ОДА практический интерес представляет разработанная методика скрининговой оценки структурных и функциональных нарушений НК, в том числе, требования к условиям проведения обследования, алгоритм его выполнения с применением биомеханических тестов при планшетной оптической плантоподографии, система показателей структурного и функционального состояния НК.

Методология и методы исследования

Для решения задач исследования использовался системный подход к анализу биотехнической системы "пациент – окружающая среда", который позволил выявить структурно-функциональные свойства этой системы, которые должны учитываться при скрининговой оценке состояния НК, включая стопу.

При проведении биомеханических исследований для оценки структурного и функционального состояния стопы применялись следующие методы: компьютерная плантография (на основе оптического планшетного сканирования плантарной поверхности и опорных отпечатков стоп с применением рычажного теста стопы и теста дозированной нагрузки на стопы); компьютерная трёхкоординатная подометрия (на основе оптического планшетного сканирования стоп (снизу - с применением теста дозированной нагрузки на стопы; с медиальной стороны - с применением рычажного теста и теста дозированной нагрузки на стопы; сзади - с применением биомеханического теста Штритера)). Для оценки структурных характеристик НК применялся двух-координатный анализ размеров и формы осей НК (на основе фоторегистрации их изображений в проекциях на фронтальную и сагиттальную плоскости в позе пациента стоя).

Обработка базы данных биомеханических исследований проводилась с использованием методов статистического анализа, в т.ч. корреляционного анализа. Для выделения границ элементов плантограммы применялись методы сегментации изображения: высокочастотной фильтрации; градиентные; использование вторых производных.

Научные положения, выносимые на защиту:

– методика, основанная на системе показателей, определяемых графико-расчётным анализом изображений стоп снизу, с медиальной стороны и сзади, полученных в положении пациента в позе стоя с обычной опорой на стопы и при

применении биомеханических тестов (рычажного, Штритера и дозированной нагрузки), а также изображений НК от плоскости опоры до линии талии спереди и сбоку, позволяет выявлять как структурные, так и функциональные нарушения состояния НК, сокращая при этом продолжительность тестирования и не требуя сложного в применении и обслуживании оборудования, что соответствует принципам скрининговых обследований населения;

– достоверность и доказательность результатов рычажного теста стопы, теста Штритера и теста дозированной нагрузки на стопы повышается выполнением их с регистрацией плантограммы и подографических изображений способом оптического планшетного сканирования;

– синтез информационно-измерительной системы на основе разработанных медико-технических требований к ней и применение такой системы при скрининговых обследованиях населения в соответствии с разработанной методикой (системой показателей, алгоритмом обследования и требованиями к условиям его проведения) позволяют снизить риск развития и прогрессирования деформаций и функциональных нарушений НК у детей и взрослых.

Степень достоверности и апробация результатов работы

Достоверность научно обоснованных результатов работы подтверждается результатами апробации предложенных методических и технических решений с проведением экспериментальных биомеханических обследований пациентов, согласующихся с результатами экспертных оценок.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались: на научно-технических конференциях НТОРЭС им. А.С. Попова (2008, 2009 гг.); на 64-й научно-технической конференции посвященной дню радио (2009 г.); Всероссийской научной школе по биомедицинской инженерии БМИ-2009; IX Международном славянском конгрессе по электростимуляции и клинической электрофизиологии сердца «КАРДИОСТИМ» (2010 г.); на III Всероссийской молодёжной школе-семинаре, г., Таганрог (25-28 сентября 2013 г.); SPITSE Symposium on Sensors and Sensor Networks (07-18 July 2014, Ilmenau, Germany); на XX Российском национальном конгрессе «Человек и его здоровье»: Международная научно-практическая конференция «Современные технологии ортезирования» (Программа 23-24.10.2014).

Внедрение результатов работы

Работа проведена в рамках государственного заказа «Проведение научно-исследовательских работ (фундаментальных научных исследований, прикладных научных исследований и экспериментальных разработок)» базовой части государственного задания Минобрнауки России. Код проекта: 2548.

Разработанные в рамках исследования новые решения по графическим построениям на изображениях стоп и НК и новые показатели оценки структурного и функционального состояния НК были внедрены в ООО «ДиаСервис» (г. С.-Петербург) при модификации методического модуля пакета программного обеспечения (ПО) усовершенствованного программно-аппаратного комплекса (ПАК) «Скан».

Результаты диссертационной работы внедрены и используются в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им.

В.И. Ульянова (Ленина) в учебном процессе при реализации магистерской образовательной программы «Биотехнические системы и технологии реабилитации и протезирования» по направлению «Биомедицинская инженерия», в практике научных исследований кафедры Биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 20 научных работ. Из них 2 статьи опубликованы в журнале из базы данных Scopus, 8 статей - в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК Минобрнауки РФ. Другие 10 работ - в материалах международных и российских научно-технических конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 128 наименований (100 – отечественных авторов, 28 – зарубежных). Основное содержание диссертации изложено на 202 листах, содержит 64 рисунка и 25 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, изложены основные научные и практические результаты, положения выносимые на защиту, приведено краткое содержание глав диссертации.

В первой главе представлен краткий обзор источников, указывающих на причины возникновения структурно-функциональных нарушений НК, включая стопу, и их влияния на состояние здоровья и качество жизни человека, а также обзор источников, описывающих методы и инструментальные средства для исследования таких нарушений. Определены проблемы, которые ограничивают возможности использования выбранных методов при скрининговом обследовании состояния НК.

Особое внимание уделено ранней диагностике состояния НК, и особенно стоп, когда деформация еще не выражена.

Определено, что для скрининговых обследований наибольший интерес представляют методы фотоанализа НК, плантографии и подометрии в позе пациента стоя, так как они безопасны для пациента, не занимают много времени для обследования, не требуют большой площади помещения для обследования, не трудоемки для специалиста, удобны для пациента, не требуют больших материальных затрат, в отличие от методов и оборудования, предназначенных для исследования параметров ходьбы.

В то же время выявлено, что имеющиеся в настоящее время инструментальные средства для реализации данных методов, как и методики их применения, пригодны в большей степени для оценки деформаций НК, включая стопы, а исследование функций НК на них проводится весьма ограниченно. Следовательно, они нуждаются в их совершенствовании в этом аспекте.

Анализ известных методов и соответствующих им систем плантоподографических показателей показал, что они не предназначены для скрининга: либо избыточны, либо недостаточны для оценки структурных нарушений НК и, тем более, не позволяют оценить её функциональное состояние.

Таким образом, анализ научных источников и информационных данных производителей медицинской техники не позволил найти простой и

информативный способ скрининговой оценки одновременно асимметрии длин НК, формы их оси, формы и размеров стопы и ее функций.

В связи с этой ситуацией была сформулирована цель исследования, направленная на повышение объективности скрининговой оценки структурных и функциональных характеристик НК. Определены задачи исследования.

Вторая глава посвящена обоснованию системы инструментальных показателей, новых или модифицированных, которые позволяют при скрининговых обследованиях объективно и доказательно (с количественной оценкой и архивами электронных биомедицинских изображений) выявлять патологические изменения не только размеров и формы НК и стоп, но и нарушения их функций.

Проведен теоретический анализ структурных и функциональных характеристик НК, включая стопу, и методик их оценки.

В главе теоретически обосновывается необходимость оценки структурных (геометрических) характеристик стопы в трех проекциях: горизонтальной XY (вид снизу, плантарная поверхность стопы); сагиттальной YZ (вид сбоку с медиальной стороны); фронтальной XZ (вид сзади). Оценки структурных характеристик НК в двух проекциях: сагиттальной YZ (вид сбоку с латеральной стороны); фронтальной XZ (вид спереди).

Анализ структурных характеристик и функциональных свойств НК и принципов оценки их нарушений графико-расчетным способом позволил определить признаки, которые целесообразно оценивать инструментальными методами при скрининговом обследовании, и показатели для их количественной оценки. Так выявлено, что основными *показателями нарушения структурного состояния стопы* являются: показатели снижения/повышения продольных сводов стопы - линейный показателем высоты свода $K1_{xy}$ (определяется по плантограмме), подометрический индекс $K1_{yz}$ и индекс высоты внутреннего продольного свода $\bar{z}2$ (определяются по изображению стопы с медиальной стороны в проекции на сагиттальную плоскость); показатели распластанности переднего отдела стопы (в т.ч. вальгусной деформации I пальца) – коэффициент распластанности переднего отдела стопы $K2_{xy}$, угол латерального отклонения большого пальца стопы $\alpha1$, угол Кларка $\alpha2$, признаки гиперкератоза под головками II-IV плюсневых костей (определяются по изображению стопы снизу в проекции на горизонтальную плоскость); показатели приведения/отведения переднего отдела стопы - коэффициент переднего отдела стопы $K3_{xy}$, угол Шопарова сустава $\alpha3$ (определяются по изображению стопы снизу в проекции на горизонтальную плоскость); показатель вальгусной/варусной деформация заднего отдела стопы $\beta2$ - угол отклонения пяточной оси (определяется по изображению стопы сзади в проекции на фронтальную плоскость). А основными *показателями нарушения структурного состояния НК* являются: показатели укорочения НК – угол наклона линии передне-верхних левой и правой остей, левого и правого вертелов бедренных костей, верхних полюсов левой и правой коленных чашек, левой и правой лодыжек $\varphi_{№_xz}$, где № - номер уровня (1 - передне-верхние ости; 2 - вертела бедер; 3 - верхние полюса коленных чашек; 4 - лодыжки) (определяются по изображению НК спереди в проекции на фронтальную плоскость); показатели формы оси НК – угол между осью

бедр и голени γ_{xz} и угол между осями конечностей при условии, что у левой и правой конечностей ось бедра и ось голени расположены на одной линии, φ_{xz} (определяются по изображению НК спереди в проекции на фронтальную плоскость); показатели сгибательной контрактуры или рекурвации в коленном суставе – угол между осью бедра и голени γ_{yz} (определяется по изображению НК с латеральной стороны в проекции на сагиттальную плоскость); показатели асимметрии поперечного размера голени - градиент ширины в поперечном фронтальном/сагиттальном сечении голени $\nabla L_{xz} / \nabla L_{yz}$ и асимметрия ширины поперечного фронтального/сагиттального размера левой и правой голени на одном и том же уровне $\Delta L_{1xz} / \Delta L_{1yz}$ (определяются по изображению стоп сзади/сбоку в проекции на фронтальную/сагиттальную плоскость).

Для оценки функционального состояния НК и стоп приведено теоретическое обоснование применения биомеханических тестов, которые позволяют регистрировать БМИ с помощью компьютерной плантоподографии, а именно: рычажного теста I пальца – для оценки способности продольного свода увеличиваться при натяжении подошвенного апоневроза и обеспечивать рессорную функцию стопы; теста Шриттера – для выявления и определения степени недостаточности мышечно-связочного аппарата стопы и голени, приводящей к нарушению толчковой функции стопы; теста с дозированной нагрузкой – для оценки функциональных свойств стопы в виде ее способности сохранять свод и рационально перераспределять опору при повышении нагрузки на нее. При этом основными *показателями функционального состояния стоп* будут: показатели патологического изменения формы и площади опорного отпечатка при выполнении нагрузочных тестов K_s , S' , $\Delta S'$, определяемые в горизонтальной плоскости; показатели патологического изменения высоты поперечного свода при выполнении нагрузочных тестов $\Delta K2_{xy}$, $\Delta \alpha 2$, определяемые в горизонтальной плоскости; показатели патологического изменения высоты продольного свода при выполнении нагрузочных тестов $\Delta K1_{xy}$, $\Delta K1_{yz}$, $\Delta \bar{z}2$, определяемые в горизонтальной и сагиттальной плоскостях; показатели патологического изменения высоты продольного свода при рычажном тесте $\Delta K1_{yz}$, $\Delta \bar{z}2$, определяемые в сагиттальной плоскости; показатель патологического наклона пятки при выполнении теста Шриттера (направление изменение угла $\beta 2$), определяемый во фронтальной плоскости.

В третьей главе рассматриваются вопросы инструментального и методического обеспечения системы для скрининговой оценки структурного и функционального состояния НК.

В главе описывается структурно-функциональная модель биотехнической системы "пациент – окружающая среда", отражающая влияние эндогенных и экзогенных факторов (по отношению к исследуемой конечности) на показатели состояния НК. Эндогенными факторами мы считаем те, которые относятся к пациенту, а экзогенными – те, которые по отношению к нему являются внешними.

При этом эндогенные факторы можно поделить на внутренние, относящиеся непосредственно к исследуемой НК, и внешние, относящиеся к пациенту.

Основными эндогенными факторами, внутренними по отношению к НК и стопе, являются патологические деформации стопы. Они непосредственно проявляются на плантоподографических изображениях. Такими факторами также будем считать половозрастные отличия НК, в частности стопы.

Эндогенными, внешними по отношению к НК и стопе, факторами, относящимися к пациенту и влияющими на плантографические и подометрические параметры, будем считать: структурные и функциональные нарушения ОДА (асимметрия его биокинематической цепи вследствие укорочения НК, наклона таза, разгибательной или сгибательной контрактуры суставов конечности, деформации оси конечности и позвоночника; болевых ощущений в сегментах НК); нарушения нервно-мышечного комплекса; состояние центральной нервной системы и вестибулярного аппарата; тип установки стопы на опорной поверхности; психофизиологическое состояние пациента; наличие у него избыточного веса; наличие отеков НК.

Экзогенные факторы, относящиеся к окружающей среде, которые могут оказывать значительное влияние на изменение позы пациента, установку его стоп и, как следствие, изменение плантографических и подометрических параметров, были условно разделены нами на факторы опорной поверхности, на которой стоит пациент, и факторы окружающего пространства. Опора оказывает прямое физическое влияние на стопы, так как происходит их непосредственное взаимодействие. Основными характеристиками опорной поверхности в данном случае мы считаем: жесткость, наклон, низкий коэффициент трения, некомфортные температура и рельеф. К факторам окружающего пространства мы относим: раздражающие факторы (внезапный световой или звуковой сигналы, информационная поддержка специалистом во время регистрации данных); дестабилизирующие внешние грузы в руках и/или одежде пациента; микроклимат в помещении (освещенность пространства, температура и влажность воздуха).

Обосновывается способ регистрации БМИ, а также предлагаются и обосновываются новые технические решения и требования для синтеза ИИС, повышающие достоверность результатов скрининговой диагностики структурных и функциональных нарушений НК, включая стопы. С учётом всех обоснованных технических решений она будет содержать следующие элементы: трехкоординатное сканирующее устройство для регистрации изображений стоп в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, состоящее из вертикального и горизонтального сканирующих устройств, ортогонально расположенных друг к другу; вращающееся сиденье с газ лифтом, обеспечивающим возможность регулирования его высоты для обследования пациентов различного роста (детей и взрослых) для регистрации изображений плантарных поверхностей стоп в положении пациента сидя при проведении нагрузочных тестов, расположенное позади вертикального сканера; фотокамеру на штативе с устройством настройки оптической оси для регистрации изображений фигуры пациента от плоскости опоры до линии талии в проекции на фронтальную и сагиттальную плоскости; вертикальные левая и правая шкалы для масштабирования фотоизображения

фигуры пациента; приспособление для ориентации установки стоп пациента на сканирующем устройстве; устройство удаленного голосового управления для облегчения врачу регистрации изображений стоп пациента в сагиттальной плоскости с помощью вертикального сканирующего устройства при выполнении рычажного теста; стационарный компьютер, компьютерная «мышь», клавиатура, монитор или ноутбук; принтер.

Структурная схема такой ИИС представлена на рисунке 1.

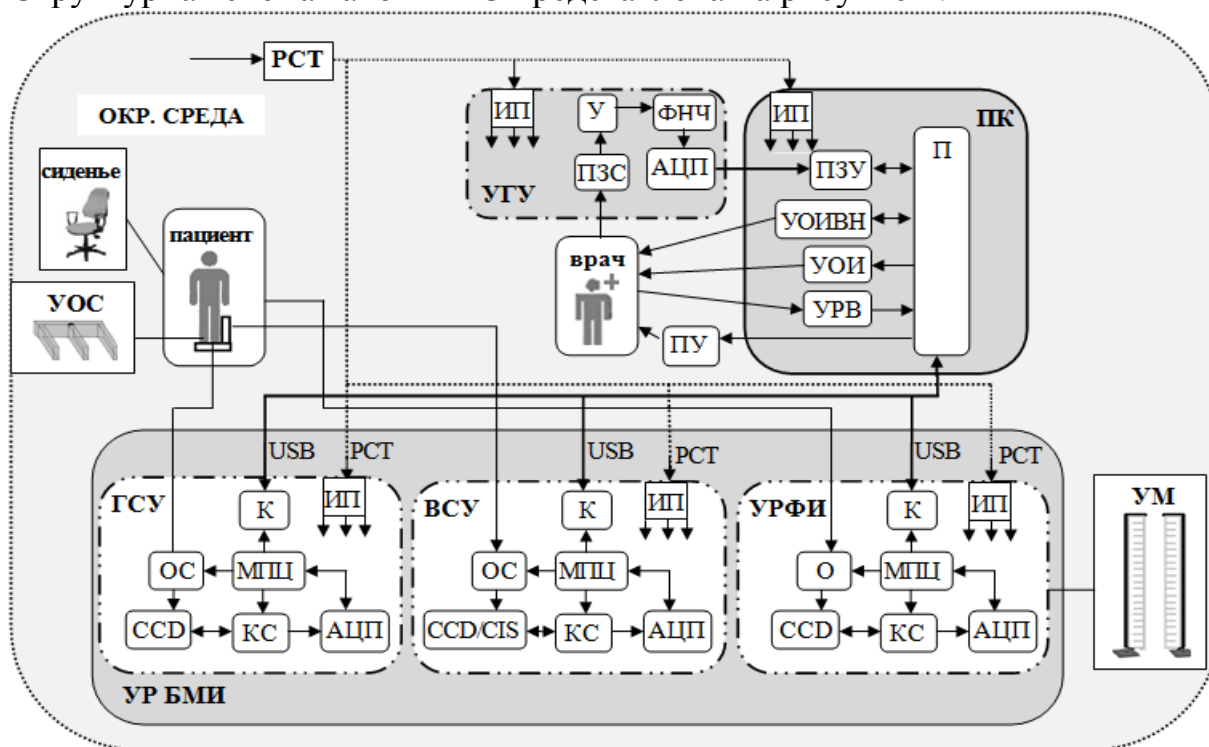


Рисунок 1 - Структурная схема ИИС для скрининговой оценки состояния НК.

Обозначения: АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; БМС – биомеханическая система; ВСУ - вертикальное сканирующее устройство; ГСУ – горизонтальное сканирующее устройство; ИП – источник питания; К – контроллер; КС – коммутатор сигналов; МПЦ – микропроцессор; О – объектив; Окр.Ср. – окружающая среда; ОС – оптическая система; П – процессор; ПЗС – приемник звукового сигнала; ПЗУ – постоянное запоминающее устройство; ПК - персональный компьютер; ПУ - печатающее устройство; РСТ – разделительный сетевой трансформатор; У – усилитель; УГУ – устройство голосового управления; УМ – устройство масштабирования (шкалы); УОИ - устройство отображения информации; УОИВН - устройства обмена информацией с внешними носителями; УОС – устройство ориентирования стоп; УРБМИ – устройство регистрации БМИ; УРВ - устройства ручного ввода; УРФИ – устройство регистрации фотоизображений; ФНЧ – фильтр низких частот; ССD - ССD-матрица (ПЗС - прибор с зарядовой связью); CIS - CIS-матрица (матрица из контактных оптических датчиков).

Приведено обоснование графико-расчетного способа и алгоритма обработки БМИ для количественной оценки показателей структурного и функционального состояния НК, включая стопу, при скрининговых обследованиях.

Значительное внимание уделено обоснованию и разработке схемы регистрации БМИ для скрининговой оценки состояния НК, которая демонстрирует влияние

экзогенных и эндогенных факторов (по отношению к тестируемой конечности) на показатели, используемые для оценки этого состояния. Данная схема позволила выявить факторы, изменение которых необходимо фиксировать (характеристики опоры, микроклимат помещения) или блокировать (раздражающие сигналы, дестабилизирующие грузы), и факторы, которые необходимо учитывать при скрининговом обследовании (пол, вес, возраст пациента, наличие у него болевых ощущений в сегментах НК, наличие деформаций оси НК, позвоночника).

Схема регистрации инструментально получаемой БМИ для скрининговой оценки состояния НК представлена на рисунке 2.

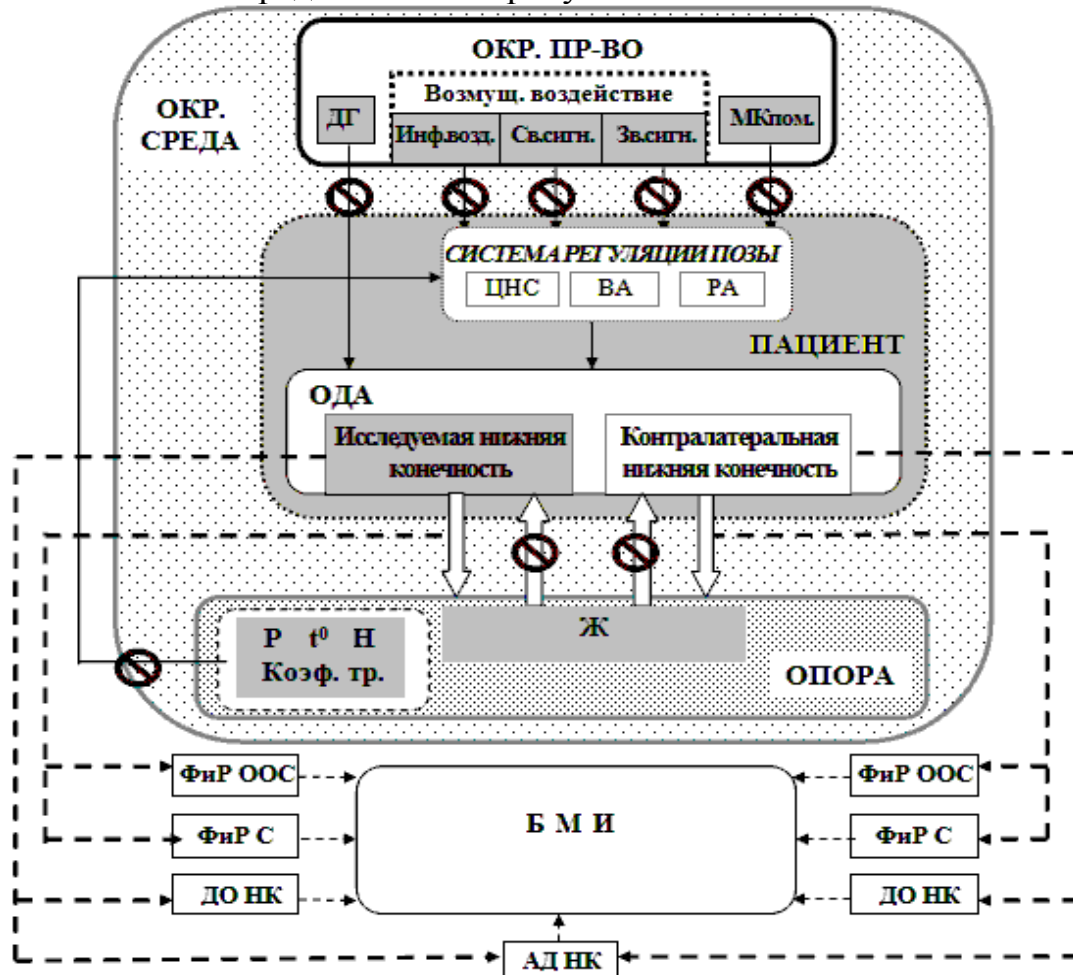


Рисунок 2 - Схема регистрации инструментально получаемой БМИ для скрининговой оценки структурного и функционального состояния НК. Обозначения на схеме: АД НК - асимметрия длин НК; БМИ – биомедицинская информация; ВА – вестибулярный аппарат; Возмущ.воздействие – возмущающее воздействие; ДГ – дестабилизирующие грузы; ДО НК - деформация оси НК; Ж – жесткость; Зв.сигн. – раздражающий звуковой сигнал; Инф.возд. – информационное воздействие; Коэф.тр. – коэффициент трения; МКпом. – микроклимат помещения; Н – наклон; ОДА – опорно-двигательный аппарат; ОКР. ПР-ВО – окружающее пространство; ОКР. СРЕДА – окружающая среда; Р – рельеф; РА – рецепторный аппарат; Св.сигн. – световой сигнал; Фир ООС - форма и размеры опорного отпечатка стопы; Фир С - форма и размеры стопы; ЦНС – центральная нервная система; t^0 – температура. Связи: \longrightarrow – физические, \dashrightarrow – информационные, \longrightarrow – причинно-следственные. \otimes – знак блокирования влияния факторов.

С учётом модели системы «пациент – окружающая среда», способа и схемы регистрации БМИ определены медико-технические требования к условиям проведения скрининговых обследований для диагностики структурных и функциональных нарушений НК и приводится описание методики биомеханического обследования.

Четвертая глава посвящена проведению экспериментальных биомеханических исследований, уточнению структурной схемы ИИС для скрининговой оценки структурного и функционального состояния НК и разработки алгоритма обследования.

Обсуждается процесс синтеза рабочего места, которое было создано для апробации предложенных в исследовании технических и методических решений путем введения в устройство для трехкоординатной планшетной оптической плантоподографии дополнительных устройств (а именно: приспособления для облегчения установки и ориентирования стоп пациента относительно полей сканирования; цифровой зеркальной фотокамеры на штативе с устройством настройки оптической оси и устройством масштабирования изображения для регистрации изображений НК с захватом от плоскости опоры до линии талии в проекции на фронтальную и сагиттальную плоскости). Для расчета предложенного комплекса инструментально диагностируемых показателей структурного и функционального состояния НК была проведена модификация ПО ПАК «Скан» (ООО «ДиаСервис», г. СПб) и ПАК «ПОЗА» (ООО «ДиаСервис», г. СПб) в части обеспечения режима дополнительных графических построений и наполнения методического блока.

Представлены результаты обследований 150 НК у 75 человек (39 взрослых и 36 детей). Различные фрагменты обследований проводились на базах следующих организаций: ФГБУ СПб НЦЭР им. Г.А.Альбрехта Минтруда России; ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России (г. Санкт-Петербург); ФДО «Скороход» (г. Санкт-Петербург); НМММЦ «ОРТО» (г. Санкт-Петербург); СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Накопленная экспериментальная база была обработана методами статистического анализа. Обработка данных проводилась с использованием программных средств Matlab, Statistica и Excel.

Некоторые из показателей, которые предполагалось использовать при выполнении нагрузочных тестов, оказались для них не эффективными, а именно - коэффициент переднего отдела стопы $K_{3_{xy}}$, угол Шопарова сустава α_3 , коэффициент распластанности переднего отдела стопы $K_{2_{xy}}$, угол латерального отклонения 1-го пальца α_1 . Это позволило сократить количество показателей.

При выполнении биомеханических тестов наиболее выраженной была динамика следующих показателей: при нагрузочных тестах - линейного показателя высоты свода $K_{1_{xy}}$ и угла Кларка α_2 (анализ в горизонтальной плоскости); при рычажном тесте – подометрического индекса $K_{1_{yz}}$ и показателя дуги свода $\Delta\bar{z}_2$ (анализ в сагиттальной плоскости); при Штритер-тесте – показателя угла отклонения пяточной оси β_2 (анализ во фронтальной плоскости). При этом не наблюдалось значимых групповых различий показателей формы стопы в контрольной группе и у пациентов с деформированными стопами, что

подтверждает возможность различного функционального состояния стопы при одном и том же структурном состоянии: стопа контрольной группы, т.е. без видимых деформаций может иметь функциональные нарушения и, наоборот, у деформированной стопы функции могут оставаться на хорошем уровне. Это доказывает необходимость при скрининге состояния стоп оценивать как структурное, так и функциональное их состояние с использованием данных тестов для оценки состояния плантарных мышц, голеностопного сустава и икроножных мышц, рессорности сводов стопы, ее опороспособности.

Отмечается, что результаты оценки состояния НК с применением фотоанализа в проекциях на фронтальную и сагиттальную плоскости в позе пациента стоя коррелируют с данными клинического осмотра. При этом фотоанализ обладает большей доказательностью благодаря количественным оценкам, сохранению биомедицинских изображений и возможности контроля по ним результатов обследования.

Результаты экспериментальных биомеханических обследований подтвердили информативность компьютерной плантоподографии с выполнением предложенных биомеханических тестов.

По результатам апробации количество показателей для скрининговой оценки состояния НК было уменьшено. Приведен алгоритм скринингового обследования для оценки структурного и функционального состояния НК, включая стопы, с учетом этих показателей и рассмотренных возрастных ограничений для проведения некоторых из биомеханических тестов.

В заключении излагаются основные результаты теоретических исследований и практических разработок диссертационного исследования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Решение задач, сформулированных в данной диссертационной работе, направлено на обоснование метода и разработку медико-технических требований к ИИС для реализации этого метода в практической медицине, на основе усовершенствования информационного, инструментального и методического обеспечения существующих ПАК для плантоподографии для повышения объективности скрининговой оценки структурных и функциональных характеристик НК, включая стопу.

Основные результаты диссертационной работы:

1. На основе теоретического анализа структурно-функциональных характеристик нижних конечностей и методов их исследования обоснована новая система показателей, которая позволяет при скрининговых обследованиях объективно и доказательно (с количественной оценкой и архивами электронных биомедицинских изображений) выявлять патологические изменения не только размеров и формы нижних конечностей и стоп, но и нарушения их функции благодаря обоснованному применению биомеханических тестов (рычажного, Штритера и дозированной нагрузки на стопы) в процессе выполнения компьютерной плантографии и подометрии;
2. Разработана структурно-функциональная модель биомеханической системы "пациент – окружающая среда", отражающая влияние эндогенных и экзогенных факторов (по отношению к тестируемой конечности) на показатели состояния

нижних конечностей, и в соответствии с ней определены требования к условиям проведения скрининговых обследований для диагностики структурных и функциональных нарушений нижних конечностей;

3. Предложены и обоснованы новые технические решения для синтеза информационно-измерительной системы, повышающие достоверность результатов скрининговой диагностики структурных и функциональных нарушений нижних конечностей за счёт совершенствования устройства для трехкоординатной планшетной оптической плантоподографии введением в него дополнительных устройств (приспособления для облегчения установки и ориентирования стоп пациента относительно полей сканирования; устройства удалённого голосового управления командами сканирования при удержании специалистом стоп ребёнка в нужной позиции на сканере, выполнении рычажной пробы на стопе, записи результатов клинического осмотра; цифровой зеркальной фотокамеры на штативе с устройством настройки оптической оси и устройством масштабирования изображения для регистрации изображений нижних конечностей с захватом от плоскости опоры до линии талии в проекции на фронтальную и сагиттальную плоскости);
4. Разработаны медико-технические требования к информационно-измерительной системе для оценки структурных и функциональных нарушений нижних конечностей в режиме скринингового обследования пациента и структурно-функциональная схема такой системы;
5. Получены экспериментальные результаты плантоподометрических обследований пациентов методом компьютерного планшетного оптического сканирования стоп с применением рычажного теста, теста Штритера и теста с дозированной нагрузкой на стопы, доказывающие целесообразность их использования при скрининговых обследованиях детей и взрослых;
6. Разработана методика и алгоритм скрининговой диагностики структурных и функциональных нарушений нижних конечностей детей и взрослых на основе разработанного комплекса показателей с использованием усовершенствованной информационно-измерительной системы.

Практические рекомендации

Разработчикам медицинской техники рекомендуется при создании ИИС для скрининговой оценки структурного и функционального состояния НК учитывать предложенные в работе структурные схемы, основные требования к инструментальному обеспечению такой ИИС и новые технические решения для ее синтеза, направленные на повышение достоверности результатов биомеханических обследований, экономическую доступность этих средств для использования их в медицинской практике. Для специалистов в области биомеханики и медицинской диагностики нарушений ОДА практический интерес представляет разработанная методика скрининговой диагностики структурных и функциональных нарушений НК, в том числе, медико-технические требования к условиям проведения обследования, алгоритм его выполнения с применением биомеханических тестов при планшетной оптической плантоподографии, система показателей структурного и функционального состояния НК.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Для диагностики структурных и функциональных нарушений НК необходима организация производства медицинской ИИС с учетом предложенных в работе технических решений, накопление баз данных обследований пациентов с различными типами деформаций ОДА с помощью этой ИИС, статистическая обработка и анализ результатов этих обследований для разработки критериев оценки.

Список сокращений:

БМИ – биомедицинская информация;

ИИС – информационно-измерительная система;

НК – нижняя конечность;

ОДА – опорно-двигательный аппарат;

ПАК – программно-аппаратный комплекс;

ПО – программное обеспечение;

XУ – горизонтальная плоскость;

XZ – фронтальная плоскость;

YZ – сагиттальная плоскость;

$K1_{xy}$ - линейный показатель высоты свода;

$K1_{yz}$ - подометрический индекс, характеризующий высоту продольного свода;

$K2_{xy}$ - коэффициент распластанности переднего отдела стопы;

$K3_{xy}$ - коэффициент переднего отдела стопы, характеризующий положение этого отдела относительно её заднего отдела;

K_S - межконечностная асимметрия опорного отпечатка;

$\Delta K1_{xy}$ - изменение линейного показателя высоты свода при выполнении теста;

$\Delta K2_{xy}$ - изменение коэффициента распластанности переднего отдела стопы при выполнении нагрузочного теста;

$\Delta K1_{yz}$ - изменение подометрического индекса при выполнении нагрузочных или рычажного тестов;

∇L_{xz} - градиент отека голени во фронтальной плоскости;

ΔL_{xz} - асимметрия ширины поперечного сечения голени во фронтальной плоскости;

∇L_{yz} - градиент отека голени в сагиттальной плоскости;

ΔL_{yz} - асимметрия ширины поперечного сечения голени в сагиттальной плоскости;

S' - индекс площади опорного отпечатка, определяемый как процентное соотношение площади основной части опорного отпечатка стопы, т.е. без учета области пальцев, к площади основной части плантарной поверхности (также без учета области пальцев);

$\Delta S'$ - изменение площади отпечатка при выполнении нагрузочного теста;

$\bar{z}2$ - показатель дуги свода;

$\bar{z}2$ - индекс высоты внутреннего продольного свода;

$\Delta \bar{z}2$ - изменение индекса высоты внутреннего продольного свода при выполнении нагрузочных или рычажного тестов;

α_1 - угол латерального отклонения I пальца;

α_2 - угол Кларка, характеризующий выемку поперечного свода на отпечатке стопы;

α_3 - угол Шопарова сустава;

β_2 - угол отклонения оси пятки (во фронтальной плоскости);

γ_{xz} - угол между осью бедра и голени во фронтальной плоскости;

γ_{yz} - угол между осью бедра и голени в сагиттальной плоскости;

φ_{xz} - угол между осями левого и правого бедра во фронтальной плоскости;

$\varphi_{№_{xz}}$ - угол наклона линии, соединяющей костные выступы слева и справа на уровне № (№ - обозначение уровня: 1 - передне-верхние ости, 2 - вертелы бедер, 3 - верхние полюса коленных чашек, 4 - лодыжки;

$\Delta\alpha_2$ - изменение угла Кларка при выполнении нагрузочного теста.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК

1. Веденина, А.С. Совершенствование методов компьютерной плантографии и подометрии в аспекте скрининговой диагностики структурно-функциональных нарушений стопы [текст] / А.С. Веденина // Биотехносфера.СПб, Изд-во: «Политехника». - №4 (40). – 2015. – С. 38-42.
2. Смирнова, Л.М. Инструментальное и методическое обеспечение исследования дисбаланса нагрузок в опорно-двигательном аппарате [текст] / Л.М. Смирнова, И.В. Ткачук, А.С. Веденина, О.Э. Гаевская // Медицинская техника. М., Изд-во: Союз общественных объединений «Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов». - №2. – 2014. – С. 40-43.
3. Веденина, А.С. Скрининг функциональных нарушений стоп с помощью компьютерной плантографии и подометрии [текст] / А.С. Веденина, И.В. Ткачук, Л.М. Смирнова, В.Б. Мартынов, Н.С. Петрова // Медицинская техника. М., Изд-во: Союз общественных объединений «Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов». - №2. – 2014. – С. 21-24.
4. Веденина, А.С. Применение инструментальной планто-подографии при скрининговых обследованиях для выявления признаков проявления марфаноидной внешности и системного вовлечения соединительной ткани [текст] / А.С. Веденина, А.Л. Коршунова, Э.В. Земцовский, Л.М. Смирнова // Биомедицинская радиоэлектроника. М., Изд-во: «Радиотехника». - №11. – 2013. – С. 5-9.
5. Веденина, А.С. Выбор способа регистрации изображения стоп при плантоподографическом обследовании с применением биомеханических тестов [текст] / А.С. Веденина, Л.М. Смирнова // Биомедицинская радиоэлектроника. М., Изд-во: «Радиотехника». - №8. – 2010. – С. 13-19.
6. Веденина, А.С. Расширение функциональных возможностей плантоподографии методом оптического сканирования [текст] / А.С. Веденина // Биомедицинская радиоэлектроника. М., Изд-во: «Радиотехника». - №11. – 2010. – С. 53-58.

7. Веденина, А.С. Повышение информативности компьютерной плантографии цифровой обработкой изображения [текст] / А.С. Веденина, Л.М. Смирнова // Биомедицинская радиоэлектроника. М., Изд-во: «Радиотехника». - №11. – 2009. – С. 9-15.
8. Веденина, А.С. Оценка функционального состояния стопы с использованием плантографии [текст] / А.С. Веденина, Л.М. Смирнова // Известия ЮФУ. Технические науки. Ростов-на-Дону, Изд-во: Южный федеральный университет. - №5 (82). – 2008. – С. 136-139.

Публикации в других изданиях

9. Vedenina, A.S. Computerized plantography and podometry as a screening evaluation method of anatomic and functional disorders of feet [текст] / A.S. Vedenina, I.V. Tkachuk, L.M. Smirnova, V.B. Martynov, N.S. Petrova // Biomedical engineering. Изд-во: Springer New York Consultants Bureau. - №2 (48). – 2014. – P. 81-83.
10. Smirnova, L.M. Instrumental and methodical support for investigation of load imbalance of the locomotor apparatus [текст] / L.M. Smirnova, I.V. Tkachuk, A.S. Vedenina, O.E. Gaevskaya // Biomedical engineering. Изд-во: Springer New York Consultants Bureau. - №2 (48). – 2014. – P. 100-104.
11. Смирнова Л.М. Применение компьютерной плантографии и подометрии для скрининговой оценки деформации и функциональных нарушений стоп [текст] / Смирнова Л.М., Веденина А.С., Мартынов В.В., Петрова Н.С. // XX Российский национальный конгресс «Человек и его здоровье»: Международная научно-практическая конференция «Современные технологии ортезирования». - Спб. - Программа 23-24.10.2014. - С. 22.
12. Vedenina, A.S. Broadening the application of the compuplantopodography by screening to evaluatstato-dynamic function of the foot [текст] / A.S. Vedenina // SPITSE Symposium on Sensors and Sensor Networks. Ilmenau, Germany. - July 07 - July 18 2014.
13. Веденина А.С. Компьютерная планто-подография для скрининговых обследований при диагностике плоскостопия как одного из проявлений системного вовлечения соединительной ткани [текст] / А.С. Веденина, А.Л. Коршунова, Э.В. Земцовский, Л.М.Смирнова // «Инновации и перспективы медицинских информационных систем»: сборник трудов III Всероссийской молодёжной школы-семинара. - 25-28 сентября 2013 г., Таганрог: типография ЮФУ.– С. 184-188.
14. Веденина А.С. Диагностическое значение биомеханических тестов для выявления функциональных нарушений стоп [текст] / А.С. Веденина // Вестник аритмологии. Труды 9 Международного славянского конгресса по электростимуляции и клинической электрофизиологии сердца «КАРДИОСТИМ». – 2010. – С. 189.
15. Веденина А.С. Повышение эффективности компьютерной плантографии цифровой обработкой изображения [текст] / А.С. Веденина // Вестник аритмологии. Труды 9 Международного славянского конгресса по электростимуляции и клинической электрофизиологии сердца «КАРДИОСТИМ». – 2010. – С. 188.

16. Веденина А.С. Расширение набора показателей состояния здоровья стоп с использованием плантографии [текст] / А.С. Веденина // Труды всероссийской научной школы по биомедицинской инженерии БМИ-2009. – С. 239-246.
17. Веденина А.С. Повышение информативности компьютерной плантографии и цифровой обработкой изображения [текст] / А.С. Веденина // Труды 64 научно-технической конференции НТОРЭС им. А.С. Попова. СПб ГЭТУ, Санкт-Петербург. 2009. С. 231-232.
18. Веденина А.С. Повышение информативности компьютерной плантографии [текст] / А. С. Веденина, Л. М. Смирнова // Труды 64-й научно-технической конференции посвященной Дню радио. - 2009.
19. Веденина А.С. Роль плантографии при выборе способов профилактики, лечения нарушений состояния стоп и оценки их эффективности [текст] / А.С. Веденина // Труды 63 научно-технической конференции НТОРЭС им. А.С. Попова.-2008.- С.289-290.
20. Веденина А.С. Использование плантографии для оценки функционального состояния стопы [текст] / А.С. Веденина // Труды 63 научно-технической конференции НТОРЭС им. А.С. Попова.-2008.- С.287-289.