

На правах рукописи



Ткачук Ирина Владимировна

МЕТОД И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСБАЛАНСА НАГРУЗОК
ПРИ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АСИММЕТРИИ
В ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ ЧЕЛОВЕКА

Специальность:

05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2014

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

Научный руководитель –

Смирнова Людмила Михайловна, доктор технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)», профессор кафедры биотехнических систем

Официальные оппоненты:

- **Мазин Валерий Дмитриевич**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», профессор кафедры измерительных информационных технологий;

- **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 бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный Государственный Университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург»

Защита диссертации состоится “18” декабря 2014 г. в 16.00 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.238.09 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 “ ____ ” октября 2014 г.

Ученый секретарь
совета по защите докторских
и кандидатских диссертаций



Садыкова Елена Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

По данным ВОЗ в Европе 75%, а в России – 85% населения страдает заболеваниями опорно-двигательного аппарата (ОДА). Большинство этих случаев сопровождается структурно-функциональной асимметрией в ОДА: дисбалансом распределения масс в биокинематической цепи (БКЦ) ОДА, тонусно-силовым дисбалансом в ОДА, нарушением опорной функции нижних конечностей. Особенно часто структурная асимметрия ОДА выражается в асимметрии длины нижних конечностей (Nichols P.J.R. et. el., 1960; Klein K.K., 1969; Проценко В.Н., 1996; Гайдук А.А., 2014), функциональная – в асимметрии их опороспособности. Такие нарушения приводят к дисбалансу весовых нагрузок в опорном контуре стоп, снижению устойчивости позы, повышению риска деформации позвоночника (Васильева Л.Ф., 1996; Погосян, И.А., 2007; Сарнадский, В.Н., 2012; Гайдук А.А., 2014). Это дополнительно снижает качество жизни больных. Особое значение это имеет для пациентов на протезе нижней конечности и пациентов с постмастэктомическим отёком верхней конечности, т.к. в этих случаях имеется длительное выраженное нарушение как структуры, так и функции ОДА.

Следовательно анализ дисбаланса нагрузок при структурно-функциональной асимметрии в ОДА является необходимым в процессе медицинской реабилитации таких пациентов. Однако используемые для этого методы и системы не достаточно учитывают компенсаторные реакции опорно-двигательной системы (ОДС), которые она должна формировать как самонастраивающаяся система. Такая ситуация указывает на актуальность темы предпринятого исследования.

Степень разработанности темы

Причины формирования структурно-функциональной асимметрии и дисбаланса нагрузок в ОДА, частоты и особенностей проявления этих нарушений, влияния их на здоровье детей и взрослых изучались долгие годы многими учёными. Они нашли отражение в работах отечественных авторов (Гурфинкель В.С., 1965, 1991; Курочкин Ю.В., 1975; Гайворонский Г.И., 1984; Васильева Л.Ф., 1996; Винарская Е.Н., 2005; Погосян И.А., 2007; Проценко В.Н., 2010; Процко В.Г. с соавт., 2011; Скоблин А.А., 2013; Витензон А.С., 2013; Гайдук А.А., 2014) и зарубежных (Rush W.A. et. el., 1946; Pearson W.M., 1954; Klein K.K. et. el., 1968; Perron D., 2012; Kent D., 2013). Разработаны инструментальные методы и технические средства для оценки дисбаланса нагрузок в ОДА и опорном контуре стоп, в т.ч. системы: «Posture print» (PostureCo, США); «GPS 400 – Global Postural System» («CHINESPORT S.p.a.», Италия); «Postural analysis chart wall» («Know Your Body Best», Канада); «Pedar System» (LTD «Novel», Германия.); F-Scan («Tekscan», Inc., США); «ДиаСлед» (ООО «ВИТ» и ООО «ДиаСервис», Россия); «ПОЗА» (ООО «ДиаСервис», Россия).

Однако, системной проработки проблемы создания метода и системы для исследования дисбаланса нагрузок у пациентов со структурно-функциональной асимметрией в ОДА до сих пор не проводилось. Решение этой проблемы с применением инновационных инженерных технологий позволит в рамках межотраслевого взаимодействия в системе инженерно-технического обеспечения

и здравоохранения повысить достоверность диагностики и качество медицинской реабилитации широких слоёв населения.

Объект исследования – информационно-измерительная система (ИИС) для оценки дисбаланса нагрузок у пациентов со структурно-функциональной асимметрией верхних и нижних конечностей с учетом компенсаторных реакций опорно-двигательной системы.

Предмет исследования – информационное, методическое и инструментальное обеспечение системы для исследования нарушений баланса нагрузок у пациентов со структурно-функциональной асимметрией верхних и нижних конечностей с учетом компенсаторных реакций опорно-двигательной системы.

Цель работы: научное обоснование метода и разработка информационного и методического обеспечения, обоснование требований к инструментальному обеспечению системы для исследования нарушения баланса нагрузок у пациентов со структурно-функциональной асимметрией верхних и нижних конечностей с учетом компенсаторных реакций опорно-двигательной системы и, таким образом, повышения качества их медицинской реабилитации.

Задачи исследования:

1. Провести теоретический анализ системы «человек – опора» и выявить ее свойства и характеристики, которые должны учитываться при исследовании нарушений баланса весовой нагрузки в ортоградной позе стоя у пациентов со структурно-функциональной асимметрией опорно-двигательного аппарата;
2. Теоретически обосновать показатели компенсаторных реакций на дисбаланс весовых нагрузок в системе «человек – опора» и модель их формирования у пациентов со структурно-функциональной асимметрией опорно-двигательного аппарата;
3. Разработать схему съёма (регистрации) биомедицинской информации для исследования дисбаланса весовых нагрузок в системе «человек – опора» с учётом компенсаторных реакций опорно-двигательной системы и создать рабочее место для регистрации и анализа этой информации;
4. Разработать методику исследования дисбаланса весовых нагрузок в ортоградной позе стоя с учётом компенсаторных реакций опорно-двигательной системы;
5. Провести экспериментальную апробацию теоретически обоснованных показателей компенсаторных реакций на дисбаланс весовых нагрузок в системе «человек – опора» и уточнить их посредством биомеханического моделирования такого дисбаланса у пациентов на протезах нижних конечностей и с постмастэктомическим отёком верхней конечности;
6. Обосновать структурную схему и основные технические требования к информационно-измерительной системе для исследования нарушений баланса весовых нагрузок в ортоградной позе стоя с учетом компенсаторных реакций опорно-двигательной системы.

Научная новизна исследования состоит в следующем:

- разработанные структурно-функциональные модели формирования компенсаторных реакций на дисбаланс весовых нагрузок у пациентов на протезах

нижних конечностей и пациентов с постмастэктомическим отёком верхней конечности объясняют причины и последствия такого дисбаланса и реакций через анализ свойств и взаимодействий пациента, технического средства реабилитации и окружающей среды как подсистем единой биотехнической системы;

- предложенная система показателей компенсаторных реакций на дисбаланс весовых нагрузок в ортоградной позе стоя у пациентов со структурно-функциональной асимметрией позволяет комплексно отразить изменения в опорно-двигательной системе пациента: изменения конфигурации биокинематической цепи опорно-двигательного аппарата, напряжённости системы постуральной регуляции (регуляции позы), которые необходимо регистрировать при инструментальной оценке дисбаланса весовых нагрузок;

- разработанная схема съёма биомедицинской информации обеспечивает получение биомедицинской информации, необходимой для исследования компенсаторных реакций на дисбаланс весовых нагрузок в ортоградной позе стоя при структурно-функциональной асимметрии опорно-двигательного аппарата;

- разработанная методика инструментального исследования дисбаланса весовых нагрузок в системе «человек – опора» позволяет кроме показателей дисбаланса нагрузок в опорном контуре стоп и опорно-двигательном аппарате пациента учитывать также показатели компенсаторных реакций опорно-двигательной системы, проявляющиеся в виде взаимосвязанных между собой изменений конфигурации биокинематической цепи опорно-двигательного аппарата и напряженности системы постуральной регуляции;

- результаты исследования позволяют уточнить представления о механизмах формирования компенсаторных реакций на дисбаланс весовых нагрузок у пациентов на протезах нижних конечностей и с постмастэктомическим отёком верхней конечности.

Теоретическая и практическая значимость работы

Полученные в работе результаты дополняют и развивают теорию создания и применения методов и технических средств инструментальной оценки состояния опорно-двигательной системы на этапах медицинской реабилитации пациентов с патологией опорно-двигательного аппарата.

Практическую ценность для разработчиков медицинской техники имеют структурная схема и технические требования к усовершенствованной информационно-измерительной системе для исследования дисбаланса весовых нагрузок при структурно-функциональной асимметрии в опорно-двигательном аппарате человека с учетом компенсаторных реакций его опорно-двигательной системы.

Для специалистов в области биомеханики и медицинской реабилитации научный и практический интерес представляют: система показателей дисбаланса весовых нагрузок и компенсаторных реакций на него у пациентов на протезах нижних конечностей и при постмастэктомическом отёке верхней конечности; методика и алгоритм биомеханического моделирования дисбаланса весовых нагрузок у этих пациентов; рабочий макет программно-аппаратного комплекса, позволяющий регистрировать и анализировать силовые параметры кистевого схвата для исследования функции верхних конечностей.

Методология и методы исследования

В работе применена методология последовательного применения методов научного познания с использованием системного подхода, основанного на анализе биотехнических систем (БТС).

При проведении биомеханических исследований для оценки структурно-функциональной асимметрии и дисбаланса весовых нагрузок в ортоградной позе стоя применялись следующие методы: зональная динамоплантография (анализ распределения нагрузки по зонам стопы); балансография в плоскости опоры (анализ баланса нагрузки в опорном контуре); клинометрия (анализ асимметрии осанки); трехплоскостная балансография (анализ расположения звеньев БТС относительно оси нагрузки); подометрия (анализ временных параметров шага); динамометрия (для анализа силовых параметров кистевого схвата).

При обработке базы данных исследований использовались методы статистического анализа, в частности факторный анализ.

Научные положения, выносимые на защиту:

Для повышения достоверности результатов оценки дисбаланса весовых нагрузок в ортоградной позе стоя при структурно-функциональной асимметрии в опорно-двигательном аппарате человека необходимо учитывать различные типы компенсаторных реакций, которые направлены на повышение устойчивости позы и проявляются в виде: изменения конфигурации биокинематической цепи опорно-двигательного аппарата для смещения главного вектора нагрузки к центру опорного контура; изменения положения стоп на опоре для увеличения размеров опорного контура; повышения напряженности системы постуральной регуляции для ее дополнительного контроля.

Информационно-измерительная система, необходимая для исследования такого дисбаланса и реакций, должна включать технические средства регистрации и анализа:

- изображений фигуры пациента в трех ортогональных плоскостях с целью оценки угловых и линейных параметров конфигурации биокинематической цепи опорно-двигательного аппарата;
- координат главного вектора нагрузки под стопами с целью оценки дисбаланса нагрузок в опорном контуре стоп;
- макро и микромиграций центра нагрузки под стопами в статике с целью оценки напряженности системы постуральной регуляции;
- информации о динамике распределения давления под стопами при ходьбе с целью определения продолжительности одноопорных фаз переката через стопы для оценки асимметрии опороспособности нижних конечностей;
- информации о параметрах кистевого схвата с целью оценки тонусно-силовой асимметрии верхних конечностей.

При этом изображения фигуры пациента, координат главного вектора нагрузки и миграций центра нагрузки под стопами должны регистрироваться синхронно.

Степень достоверности и апробация результатов работы

Достоверность результатов работы подтверждается: результатами клинических испытаний методики инструментальной оценки компенсаторных

реакций ОДС на дисбаланс нагрузок при структурно-функциональной асимметрии верхних и нижних конечностей человека; согласованностью получаемых данных с результатами экспертных оценок.

Основные научные и практические результаты диссертации докладывались и обсуждались: на XVI российском национальном конгрессе «Человек и его здоровье» (С.-Петербург, 2011); Шестнадцатой Санкт-Петербургской ассамблее молодых ученых и специалистов (С.-Петербург, 2011); 66-й научно-технической конференции, посвященной дню радио СПб НТОРЭС им. А.С. Попова (С.-Петербург, 2011); 67-й научно-технической конференции, посвященной дню радио СПб НТОРЭС им. А.С. Попова (С.-Петербург, 2012); III всероссийской молодежной школе-семинаре «Инновации и перспективы медицинских информационных систем» (Таганрог, 2013); XVIII российском национальном конгрессе «Человек и его здоровье» (С.-Петербург, 2013), 68-й научно-технической конференции, посвященной дню радио СПб НТОРЭС им. А.С. Попова (С.-Петербург, 2013).

Внедрение результатов работы

Полученные в диссертационной работе результаты теоретических и прикладных исследований использовались при выполнении в ФГБУ СПб НЦЭПР им. Г.А. Альбрехта Минтруда России НИР «Исследование компенсаторных реакций опорно-двигательной системы инвалида после ампутации на уровне бедра и голени при настройке протеза» (№ гос. рег. 01201163999, 2011-2012 гг.)

Разработанные в рамках исследования алгоритмы обработки биомедицинской информации и расчета параметров дисбаланса нагрузок в БТС были внедрены в 2012 г. в пакет программного обеспечения (ПО) ИИС для оценки дисбаланса нагрузок в ортоградной позе, разработанной ООО «ДиаСервис» (С.-Петербург). Результаты диссертационной работы внедрены и используются с 2013 г. в СПбГЭТУ «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».

Публикации

По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, в т.ч.: 6 статей в ведущих рецензируемых журналах и изданиях, определенных ВАК Минобрнауки РФ; 7 работ в материалах российских и международных научно-технических конференций; 1 методическое пособие.

Личное участие автора

Автор лично выполнил основной объем теоретических и экспериментальных исследований, сформировал базу данных инструментальных обследований, провел ее статистическую обработку и анализ полученных результатов, сформулировал основные положения диссертации.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 121 наименования (101 – отечественных авторов, 20 – зарубежных). Основное содержание диссертации изложено на 156 листах, содержит 51 рисунок и 6 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 анализ состояния проблемы в отрасли. Дан краткий обзор источников, указывающих на причины формирования дисбаланса нагрузок в ОДА и влияние его на состояние здоровья человека, а также обзор источников, описывающих методы и технические средства для исследования такого дисбаланса. Определены проблемы, которые ограничивают возможности исследования дисбаланса нагрузок в ОДА.

Выявлено, что особое значение такие исследования имеют при структурно-функциональной асимметрии верхних и нижних конечностей. Это относится к пациентам на протезах нижних конечностей, так как у них имеется выраженное снижение функции протезированной конечности и дисбаланс масс в ОДА, а также к пациенткам с отеком верхней конечности из-за нарушения лимфотока после радикального лечения рака молочной железы, так как асимметрия масс верхних конечностей и тонусно-силовые нарушения продолжают в этом случае также в течение длительного периода, из-за чего увеличивается риск деформации позвоночника.

В то же время выявлено, что известные и используемые в медицинской практике инструментальные методы и технические средства для исследования дисбаланса нагрузок в опорном контуре стоп и в ОДА не учитывают компенсаторные возможности пациента и, следовательно, нуждаются в их совершенствовании в этом аспекте. В связи с этой ситуацией была сформулирована цель исследования и определены его задачи.

Вторая глава освещает вопросы информационного обеспечения системы для исследования дисбаланса нагрузок в ортоградной позе. В этом аспекте в ней проведён теоретический анализ системы «человек – опора».

Факторами структурно-функциональной асимметрии, влияющими на дисбаланс весовой нагрузки в этой системе, для пациентов на протезах нижних конечностей были обоснованы: снижение массы, уменьшение длины и нарушение опороспособности протезированной конечности. Для пациенток с постмастэктомическим отёком в качестве аналогичных факторов рассматривались: во-первых, асимметрия масс в ОДА, величина которой зависит от соотношения уменьшения массы со стороны удаления тканей, увеличения массы из-за отёка верхней конечности с этой же стороны, веса протеза железы; во вторых, тонусно-силовой дисбаланс на уровне верхних регионов туловища, который зависит от последствий оперативного вмешательства и лучевой терапии.

Показателями дисбаланса нагрузок в опорном контуре стоп в ортоградной позе стоя обоснованы направление и величина смещения точки приложения главного вектора нагрузки в опорном контуре стоп: во фронтальной плоскости – относительно центра опорного контура; в сагиттальной – относительно линии, соединяющей бугристую ладьевидной кости левой и правой стопы. Дополнительный показатель – асимметрия распределения нагрузки между передним и задним отделом левой и правой стопы, т.е. диагональный перекос опоры.

Теоретически обосновано, что снижение устойчивости в ортоградной позе человека вследствие дисбаланса весовых нагрузок в системе «человек – опора» приводит к формированию взаимосвязанных между собой вариантов компенсаторных реакций ОДС: изменению конфигурации БКЦ ОДА для смещения главного вектора нагрузки к центру опорного контура; изменению положения стоп на опоре для увеличения размеров опорного контура; повышению напряженности системы постуральной регуляции для ее дополнительного контроля. Обоснована система основных показателей этих реакций, которые сводятся в две группы. Первая группа – показатели изменения конфигурации БКЦ ОДА: параметры смещения таза и шеи во фронтальной плоскости относительно медиальной оси, грудной клетки – в сагиттальной плоскости, фронтальный угол наклона корпуса, угол ротации плечевого пояса в горизонтальной плоскости. Вторая группа – показатели напряженности системы постуральной регуляции: длина статокинезиограммы, скорость миграции общего центра давления в горизонтальной плоскости, стабиллографический индекс равновесия.

В итоге разработана структурно-функциональная модель системы «человек – опора», отражающая взаимодействие факторов, вызывающих дисбаланс нагрузок в этой системе и компенсаторные реакции ОДС на него, и указывающая на свойства, которые надо учитывать при исследовании дисбаланса нагрузок в этой системе.

В третьей главе рассматриваются вопросы методического и инструментального обеспечения исследования дисбаланса нагрузок и вызванных им компенсаторных реакций у пациентов со структурно-функциональной асимметрией нижних и верхних конечностей.

На базе структурно-функциональной модели системы «человек – опора», разработанной в главе II, обоснованы метод исследования дисбаланса нагрузок с учетом компенсаторных реакций ОДС и схема съёма необходимой для этого биомедицинской информации (рисунок 1). Особенностью этого метода является получение и анализ различного типа биомедицинской информации как единого комплекса взаимосвязанных между собой данных, характеризующих дисбаланс нагрузок и компенсаторные реакции на него в ортоградной позе стоя, а именно: координат главного вектора нагрузки в опорном контуре стоп; параметров конфигурации БКЦ ОДА в трёх ортогональных плоскостях; параметров напряженности системы постуральной регуляции.

Представлена информация о создании рабочего места для проведения экспериментальных биомеханических исследований. Оно было создано на основе агрегирования уже существующих программно-аппаратных комплексов: «ПОЗА» (ООО «ДиаСервис», г. С.-Петербург) – для оценки дисбаланса нагрузок в опорном контуре стоп и в БКЦ БТС; «МБН – Стабило» (НПФ «МБН-Биомеханика», г. Москва) – для оценки напряженности системы регуляции позы; «ДиаСлед» (ООО «ДиаСервис» и ООО «ВИТ», г. С.-Петербург) – для оценки асимметрии опороспособности нижних конечностей. Для оценки функциональной асимметрии верхних конечностей как одного из факторов, влияющих на дисбаланс и компенсаторные реакции, был разработан и изготовлен рабочий макет ИИС для исследования силовых характеристик кистевого схвата, так как готовых систем данного класса на российском рынке нам найти не удалось.

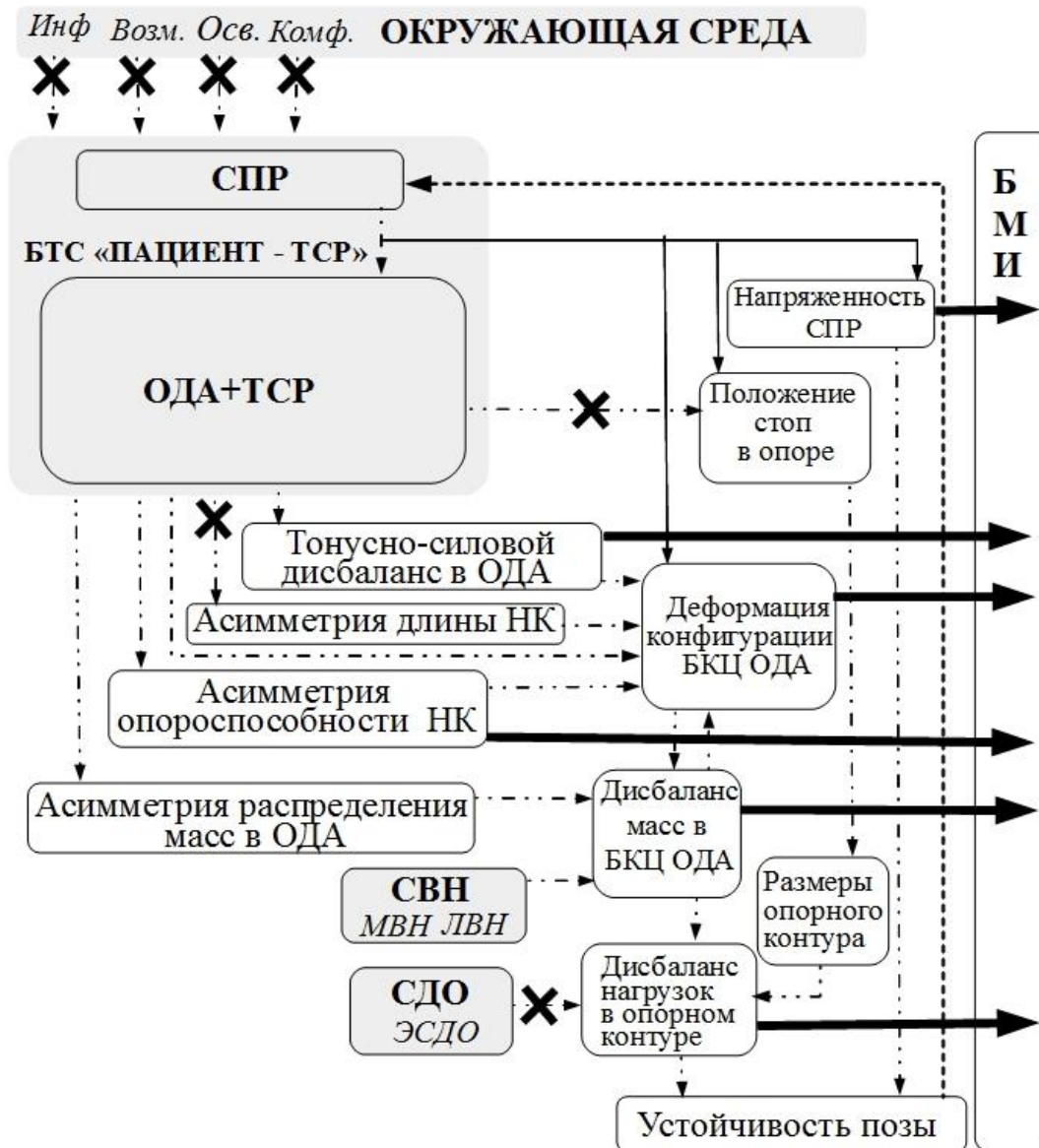


Рисунок 1 – Схема съема инструментально получаемой биомедицинской информации для исследования компенсаторных реакций на дисбаланс нагрузок в ортоградной позе стоя у пациентов при структурно-функциональной асимметрии верхних и нижних конечностей. Обозначения: БКЦ – биокинематическая цепь; БМИ – биомедицинская информация; БТС – биотехническая система; Возм – возмущающие информационные сигналы; Инф – информационная поддержка по удержанию заданной позы; Комф – комфортность условий обследования; ЛВН – локализация внешней нагрузки (относительно ОДА); МВН – масса внешней нагрузки; НК – нижние конечности; ОДА – опорно-двигательный аппарат; Осв – освещенность пространства; СВН – средства внешней нагрузки; СДО – средства дополнительной опоры; СПР – система постральной регуляции; ТСР – техническое средство реабилитации; ЭСДО – эргономичность средств дополнительной опоры; штрих-пунктирные стрелки – причинно-следственные связи; пунктирные – обратная связь; сплошные тонкие – компенсаторные реакции; сплошные жирные – БМИ; крест – блокирование влияния факторов.

Разработана методика и алгоритм проведения биомеханических обследований на этом рабочем месте с учётом функциональных возможностей используемых в нём программно-аппаратных комплексов, особенностей

рассматриваемых БТС, обоснованных требований к условиям исследования дисбаланса нагрузок при структурно-функциональной асимметрии в ОДА.

Четвертая глава посвящена проведению экспериментальных биомеханических исследований.

Обследования были проведены на базе ФГБУ «СПб НЦЭПР им. Г.А. Альбрехта Минтруда России». Все пациенты, принимавшие участие в исследовании, дали информированное согласие. Они отбирались в соответствии с разработанными нами критериями включения/исключения. Критерии включения: паспортный возраст от 20 до 60 лет, структурно-функциональная асимметрия конечностей (отёк верхней конечности вследствие радикального лечения рака молочной железы; протезированная нижняя конечность), а также контрольная группа обследуемых без клинически выраженных патологий ОДА. Критерии исключения: паспортный возраст младше 20 и старше 60 лет, сколиотическая болезнь II степени и более, деформации таза и стоп врожденного и травматического характера, тяжелая соматическая патология.

Обследовано 21 человек в возрасте 24 – 56 лет: 16 человек – со структурно-функциональной асимметрией конечностей (6 – с отёком верхней конечности из-за нарушения лимфотока после радикального лечения рака молочной железы; 10 – на протезе голени и бедра); 5 – контрольная группа. Распределение по полу: 9 – женщин; 12 – мужчин. Проводились тесты: привычная для пациента поза стоя; поза с самоконтролем (по стойке «смирно»); моделирование дисбаланса нагрузок за счёт использования внешних грузов.

Накопленная экспериментальная база данных была обработана методами статистического, в т.ч. факторного анализа. Обработка данных проводилась с использованием программных средств SPSS, Matlab, C++, MS Excel.

Результаты обследования подтвердили функциональную асимметрию у обеих групп пациентов: при постмастэктомическом отёке – в виде снижения силы и импульса силы кистевого схвата отёчной конечности; у пациентов на протезе – в виде снижения опороспособности протезированной конечности, о чём свидетельствовало сокращение продолжительности опоры на неё при ходьбе. Дисбаланс нагрузок в опорном контуре стоп у всех пациентов на протезах проявлялся смещением нагрузки в сторону здоровой конечности. У пациенток с постмастэктомическим отёком конечности характерного дисбаланса нагрузок в опорном контуре не было выявлено.

Результаты факторного анализа данных представлены в таблице. Анализ первого компонента указывает на корреляцию между показателями напряжённости системы постуральной регуляции и ротацией плечевого пояса у пациентов на протезах, что позволяет расценивать такое изменение конфигурации БКЦ как механизм поддержания устойчивости позы в условиях дисбаланса нагрузок в БТС «пациент – протез». Также выявлена корреляция между латерализацией БКЦ БТС, нагрузок в опорном контуре стоп и в БКЦ БТС. Она отражает компенсаторные реакции на дисбаланс нагрузок во фронтальной плоскости.

Кроме того выявлена корреляция между контролем позы, показателями дисбаланса нагрузок в сагиттальном направлении опорного контура, показателями изменения конфигурации БКЦ в этой же плоскости. Эти результаты показывают, что дисбаланс в сагиттальной плоскости компенсируется преимущественно за счет самоконтроля позы.

Таблица – Результаты расчёта базы данных обследований пациентов на протезах в программе факторного анализа: повернутая матрица компонентов

Обозначение переменной	Название переменной	Повернутая матрица компонентов					
		Компонент					
		1	2	3	4	5	6
VAR1_ c_{nt}	наличие контроля позы	,095	-,161	,244	,527	,013	,217
VAR2_ L_{sk}	длина статокинезиограммы	,977	,099	,077	,012	-,038	,013
VAR3_ V_{sk}	скорость миграции общего центра давления в горизонтальной плоскости	,977	,099	,078	,012	-,039	,013
VAR4_ X_{f1}	частота первого максимума спектра по фронтальной составляющей статокинезиограммы	-,305	-,150	-,311	,065	,600	-,034
VAR5_ Y_{f1}	частота первого максимума спектра по сагиттальной составляющей статокинезиограммы	,114	-,085	,005	,023	,904	-,188
VAR6_ $X_{f60\%}$	уровень 60% мощности спектра во фронтальной плоскости статокинезиограммы	-,124	,062	-,463	,093	,007	,686
VAR7_ $Y_{f60\%}$	уровень 60% мощности спектра в сагиттальной плоскости статокинезиограммы	,071	,099	,107	-,100	-,188	,870
VAR8_ L_{FS95}	отношение длины статокинезиограммы к её площади	-,407	,121	,000	-,478	,500	,102
VAR9_ S_t	индекс равновесия	,977	,100	,075	,010	-,037	,009
VAR10_ K_{Gy}	относительное сагиттальное смещение главного вектора весовой нагрузки	-,559	-,052	,100	,633	-,005	-,173
VAR11_ $K_{Y5''}$	показатель положения грудной клетки в сагиттальной плоскости	-,083	-,048	-,056	,886	,035	-,091
VAR12_ K_{Gx}	коэффициент фронтальной децентрализации нагрузки в опорном контуре	,044	,342	,777	,091	-,133	,002
VAR13_ K_{x5}	относительная латерализация шеи	-,181	-,749	,573	,141	,095	,032
VAR14_ K_{x2}	относительная латерализация таза	,025	-,270	,836	,077	-,082	-,095
VAR15_ Δx_4	коэффициент фронтального дисбаланса нагрузок в биокинематической цепи на уровне плечевого пояса	,226	,947	,001	-,092	-,086	,061
VAR16_ Δx_2	коэффициент фронтального дисбаланса нагрузок в биокинематической цепи на уровне таза	-,003	,843	,236	-,085	,067	,196
VAR17_ b_5	фронтальный угол наклона корпуса	,156	,866	-,098	-,050	-,117	-,033
VAR18_ α_{5rot}	ротация плечевого пояса	-,722	-,382	,207	,192	,137	,132

Метод получения: анализ главных компонент. Метод вращения: метод Варимакса с Кайзеровской нормализацией.

Тесты с удержанием физиологически допустимой массы груза со стороны протезированной нижней конечности приводили к уменьшению исходного смещения вектора нагрузки к сохранной конечности, особенно при хорошем качестве протезирования, что указывало на снижение асимметрии масс в БТС и увеличение запаса устойчивости позы.

При постмастэктомическом отёке верхней конечности тоже была выявлена отрицательная корреляция между показателями ротации плечевого пояса и основными показателями напряженности позы. Но корреляция между показателями дисбаланса нагрузок в опорном контуре и показателями изменения конфигурации БКЦ у них не была столь выраженной и логически объяснимой, как у пациентов на протезе. Вероятно, причиной этого являются: во-первых, компенсация снижения массы грудного региона со стороны мастэктомии увеличением массы отёка с этой же стороны; во-вторых, значительная вариабельность позы разных пациенток из-за различий в нарушениях тонусно-силового баланса в ОДА, вызванного поражением тканей вследствие оперативного вмешательства и их облучения.

Экспериментально было подтверждено, что при структурно-функциональной асимметрии ОДА формируется дисбаланс нагрузок в ОДА и опорном контуре стоп, вызывающий компенсаторные реакции со стороны ОДС пациента, направленные на поддержание устойчивости позы. Выявлено 3 типа таких реакций в ортоградной позе стоя: изменение положения стоп в опоре для увеличения размеров опорного контура; изменение конфигурации БКЦ ОДА для смещения главного вектора нагрузки к середине опорного контура и минимизации опрокидывающего момента сил; увеличение напряженности системы постуральной регуляции для повышения контроля за позой. Уменьшение дисбаланса нагрузок в опорном контуре стоп, достигнутое изменением параметров БКЦ, приводит к изменению баланса нагрузок в ней, что следует учитывать в аспекте оценки риска деформации позвоночника.

Биомеханическое моделирование дисбаланса нагрузок продемонстрировало, что результирующий дисбаланс нагрузок в опорном контуре стоп зависит как от «первичного» дисбаланса нагрузок в нём вследствие структурно-функциональной асимметрии ОДА, так и от компенсаторных реакций ОДС, направленных на повышение устойчивости позы. Следовательно оценка только дисбаланса нагрузок в опорном контуре является недостаточной для оценки состояния ОДА или качества протеза. Дополнительно к этому надо учитывать компенсаторные реакции ОДС.

Таким образом объективно подтверждено, что разработанная методика позволяет исследовать дисбаланс нагрузок с учётом компенсаторных реакций ОДС.

В пятой главе обоснованы основные технические требования к усовершенствованной ИИС для исследования дисбаланса весовых нагрузок в ортоградной позе стоя с учётом компенсаторных реакций ОДС.

Структурная схема такой ИИС представлена на рисунке 2.

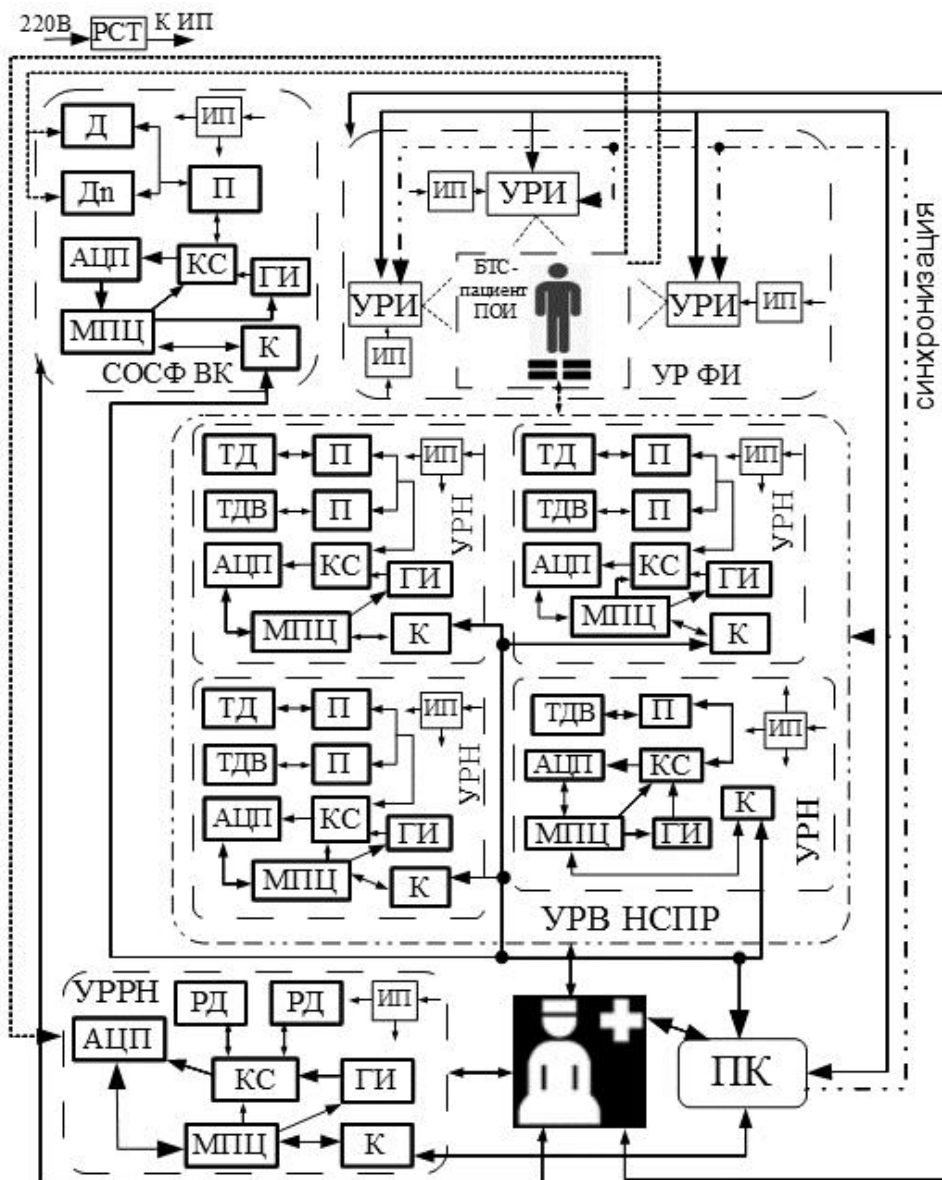


Рисунок 2 – Структурная схема ИИС для исследования дисбаланса весовых нагрузок в ортоградной позе стоя. Обозначения: АЦП — аналогово-цифровой преобразователь; ГИ — генератор импульсов; Д, Дп — датчики силы (для измерения силы кистевого схвата); ИП — источник питания; К — контроллер; КС — коммутатор сигналов; МПЦ — микропроцессор; П — преобразователь; ПК — персональный компьютер; ПОИ — протезно-ортопедическое изделие; РД — резистивные датчики (матрица датчиков, собранная в форме стельки); РСТ — разделительный сетевой трансформатор; СОСФ ВК — система оценки силовой функции верхних конечностей; ТД — тензодатчик (для регистрации микро и макромиграций центра давления в опорном контуре); ТДВ — тензодатчики (для измерения веса под передним и задним отделами левой и правой стопы); УРВ НСПР — устройство регистрации веса и напряжённости системы постуральной регуляции; УРИ — устройство регистрации изображений (фигуры пациента); УРН — устройство регистрации нагрузки (под стопами); УРНН — устройство регистрации распределённой нагрузки (под стопами); УР ФИ — устройство регистрации фотоизображений.

Такая система должна включать технические средства регистрации и анализа следующей биомедицинской информации:

- изображений фигуры пациента в трех ортогональных плоскостях для оценки угловых и линейных параметров конфигурации БКЦ ОДА;
- координат главного вектора нагрузки под стопами для оценки дисбаланса нагрузок в опорном контуре стоп;
- макро и микромиграций центра нагрузки под стопами в статике для оценки напряженности системы постуральной регуляции;
- информации о динамике распределения давления под стопами при ходьбе для определения продолжительности одноопорных фаз переката через стопы для оценки асимметрии опороспособности нижних конечностей;
- информации о параметрах кистевого схвата для оценки тонусно-силовой асимметрии верхних конечностей.

При этом регистрация изображений фигуры пациента, координат главного вектора нагрузки и миграций центра нагрузки под стопами должна происходить синхронно.

В этой же главе сформулированы основные функциональные требования к ПО усовершенствованной ИИС для оценки дисбаланса весовых нагрузок. Разработана блок-схема, отражающая необходимые для таких исследований специфические функции программы и её общие сервисы (рисунок 3).

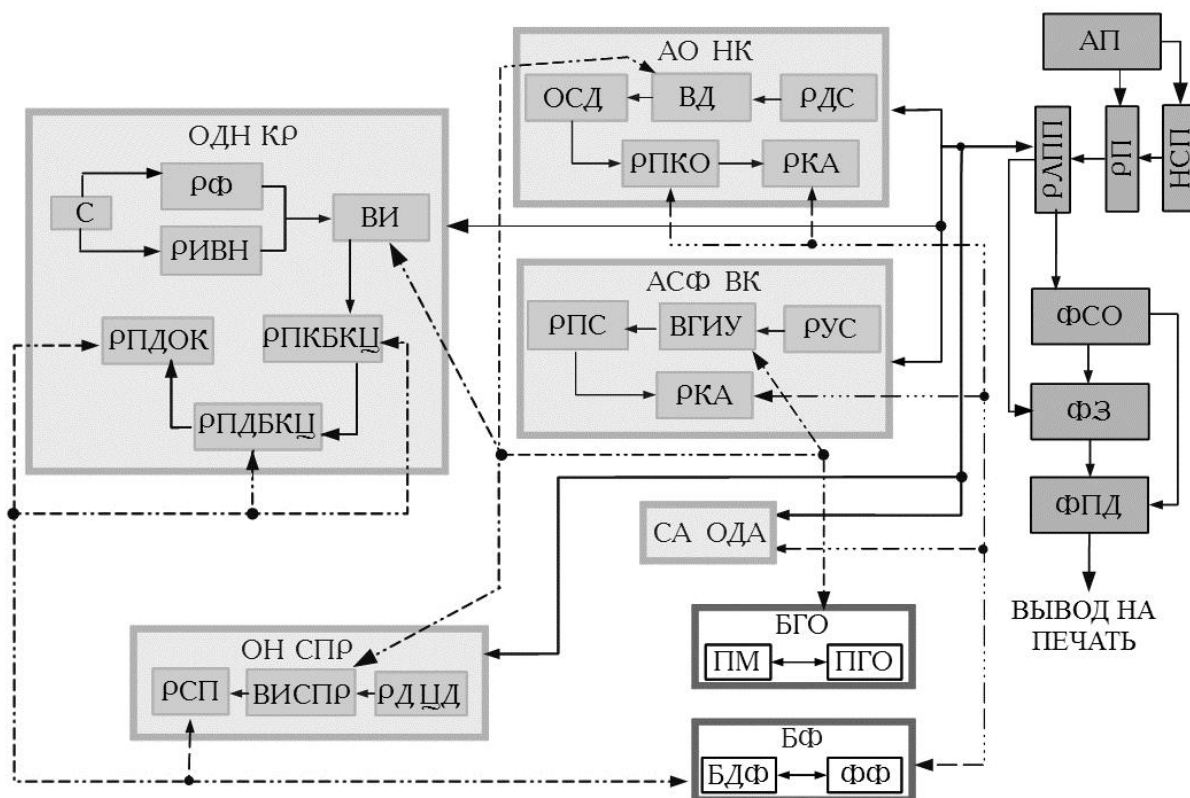


Рисунок 3 – Структурная схема ПО ИИС для исследования дисбаланса весовых нагрузок в ортоградной позе стоя. Обозначения блоков ПО: АО НК — оценки асимметрии опороспособности нижних конечностей; АП — аутентификации пользователей; АСФ ВК – оценки асимметрии силовой функции верхних конечностей; БГО – база данных графических объектов; БДФ – база данных формул; РПДОК – расчета показателей дисбаланса нагрузок в опорном контуре; БФ – библиотека формул; ВГИУ — визуализации графика измерения усилия схвата; ВД — визуализации давления под стопами; ВИ — визуализации информации; ВИСПР – визуализации информации о напряженности системы

постуральной регуляции; НСП — настройки системы на пользователя; ОДН КР — оценки дисбаланса нагрузок и компенсаторных реакций; ОН СПР — оценки напряжённости системы постуральной регуляции; ОСД — обработки сигналов давления под стопами; ПГО — построения графических объектов; ПМ — построения масок; РДС — регистрации давления под стопами; РДЦД — регистрации данных о траектории миграции центра давления; РИВН — регистрации информации о расположении вектора нагрузки; РКА — расчёта коэффициентов асимметрии; РЛПП — работы с листом посещения пациента; РП — регистрации пациента; РПДБКЦ — расчёта показателей дисбаланса нагрузок в БКЦ; РПКБКЦ — расчёта показателей конфигурации БКЦ; РПКО — расчёта параметров и критериев оценки; РПС — расчёта параметров схвата; РСР — расчёта стабиллографических параметров; РУС — регистрации усилия схвата; РФ — регистрации фотоизображений в ортогональных плоскостях; С — синхронизации; СА ОДА — оценки структурной асимметрии в ОДА; ФЗ — формирования заключения; ФПД — формирования печатных документов; ФСО — формирования статистических отчётов; ФФ — формирования формул.

В число специфических функций такого ПО должны входить: автоматическое распознавание, тестирование и настройка аналого-цифровых преобразователей соответствующих устройств; регистрация биомедицинской информации с этих устройств; обработка этой информации и расчёт показателей функциональной асимметрии в ОДА, дисбаланса нагрузок в опорном контуре стоп, показателей изменения линейных и угловых параметров БКЦ ОДА, показателей изменения напряжённости системы регуляции позы, показателей дисбаланса нагрузок в БКЦ ОДА; настройка вариантов визуализации биомедицинской информации.

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

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработаны структурно-функциональные модели формирования компенсаторных реакций на дисбаланс весовых нагрузок у пациентов на протезах нижних конечностей и с постмастэктомическим отёком верхней конечности.

2. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена система показателей компенсаторных реакций на дисбаланс весовых нагрузок в ортоградной позе стоя у пациентов со структурно-функциональной асимметрией в опорно-двигательном аппарате.

3. Разработана схема съёма биомедицинской информации, необходимой для исследования компенсаторных реакций на дисбаланс весовых нагрузок в ортоградной позе стоя при структурно-функциональной асимметрии опорно-двигательного аппарата.

4. Изготовлен рабочий макет программно-аппаратного комплекса для регистрации и анализа силовых параметров кистевого схвата.

5. Разработана методика инструментального исследования дисбаланса весовых нагрузок в системе «человек – опора», новизна которой заключается в том, что кроме показателей дисбаланса нагрузок в опорном контуре стоп и опорно-двигательном аппарате в ней учитываются также показатели компенсаторных реакций опорно-двигательной системы.

6. Получены экспериментальные данные биомеханического моделирования дисбаланса весовых нагрузок в ортоградной позе стоя у пациентов на протезах нижних конечностей и пациентов с постмастэктомическим отёком верхней конечности (посредством удержания грузов с разных сторон по отношению к поражённой стороне), благодаря чему были раскрыты особенности компенсаторных реакций на дисбаланс нагрузок при данных видах патологии.

7. Разработана структурная схема и технические требования к усовершенствованной информационно-измерительной системе для исследования дисбаланса весовых нагрузок при структурно-функциональной асимметрии в опорно-двигательном аппарате человека с учётом компенсаторных реакций его опорно-двигательной системы.

Практические рекомендации

Разработчикам медицинской техники рекомендуется при создании ИИС для исследования дисбаланса нагрузок в ОДА учитывать предложенные в работе структурные схемы и основные требования к инструментальному и программному обеспечению такой техники, направленные на повышение достоверности результатов биомеханических обследований, экономическую доступность этих средств для использования их в медицинской практике. Для специалистов в области биомеханики при оценке состояния пациентов со структурно-функциональной асимметрией в ОДА рекомендуется использовать предложенные алгоритмы проведения биомеханического обследования и систему показателей дисбаланса нагрузок в ОДА человека с учетом компенсаторных реакций ОДС, чтобы повысить достоверность оценки состояния пациента.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Для более углубленного изучения дисбаланса нагрузок при структурно-функциональной асимметрии в ОДА необходима организация производства медицинской техники с учетом предложенных в работе технических решений, накопление баз данных обследований (на этой технике) пациентов с различными типами ортопедической патологии, статистическая обработка и анализ результатов этих обследований.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК

1. Хлызова И.В. Измерительно-информационная система и метод оценки силовых характеристик кистевого схвата [Текст] / И. В. Хлызова, Л. М. Смирнова // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2011. – № 5. – С. 45-50.
2. Хлызова, И.В. Инструментальная оценка функции кистевого схвата [Текст] / И.В. Хлызова, Л. М. Смирнова, О.Э. Гаевская // Медико-социальная экспертиза и реабилитация – 2013. – №1. – С. 38-43.
3. Смирнова Л.М. Система и метод исследования компенсаторных реакций на дисбаланс нагрузок в биотехнической системе [Текст] / Л.М. Смирнова, И.В. Хлызова // Биотехносфера. – 2013. – №1 (25). – С. 15-20.
4. Смирнова Л.М. Инструментальная оценка компенсаторных реакций на дисбаланс нагрузки в биотехнической системе при структурно-функциональной асимметрии нижних конечностей [Текст] / Л.М. Смирнова, И.В. Ткачук, О.Э. Гаевская // Биомедицинская радиоэлектроника – 2013 – №11. – С. 10-14.

5. Инструментальное и методическое обеспечение исследования дисбаланса нагрузок в опорно-двигательном аппарате [Текст] / Л.М. Смирнова, И.В. Ткачук (Хлызова), А.С. Веденина, О.Э. Гаевская // Медицинская Техника. – 2014. – № 2. – С. 40-44.

6. Скрининг функциональных нарушений стоп с помощью компьютерной плантографии и подометрии [Текст] / Веденина А.С., И.В. Ткачук (Хлызова), Л.М. Смирнова, В.Б. Мартынов, Н.С. Петрова // Медицинская техника – 2014. – № 2. – С. 21-24.

Публикации в других изданиях

7. Инструментальная оценка силовых характеристик кистевого схвата у женщин с отеком верхней конечности вследствие радикального лечения рака молочной железы [Текст] / И. В. Хлызова, Л. М. Смирнова, О. Э. Гаевская, О. Л. Белянин // Вестник всероссийской гильдии протезистов-ортопедов: Материалы XVI рос.нац. конгр. «Человек и его здоровье». – СПб, 2011. – № 3(45). – С. 159.

8. Хлызова, И. В. Система и метод оценки двигательной и силовой функции верхних конечностей [Текст] / И.В. Хлызова // Сборник трудов 66-й научно-технической конференции посвященной дню радио СПб НТОРЭС им. А.С. Попова – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. – СПб – С. 37

9. Хлызова, И.В. Система и метод оценки силовой функции кисти [Текст] / И.В. Хлызова // Шестнадцатая Санкт-Петербургская ассамблея молодых ученых и специалистов – СПб, 2011. – С. 165.

10. Хлызова, И. В. Система и метод оценки силовой функции кисти на этапах реабилитации инвалидов [Текст] / И.В. Хлызова // Сборник трудов 67-й научно-технической конференции посвященной дню радио СПб НТОРЭС им. А.С. Попова – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. – С. 294-295.

11. Настройка протезов бедра и голени с учетом компенсаторных реакций на дисбаланс нагрузки в статике / Л.М. Смирнова, О.Э. Гаевская, О.Л. Белянин, В.Г. Суляев, И.В. Хлызова // Вестник всероссийской гильдии протезистов-ортопедов XVIII рос. Нац. Конгр.: «Человек и его здоровье» – СПб, 2013. – №4 (54). – С. 77-78.

12. Смирнова Л.М. Инструментальное исследование компенсаторных реакций в ортоградной позе у пациентов со структурно-функциональной асимметрией конечностей / Л.М. Смирнова, И.В. Ткачук (Хлызова), О.Э. Гаевская // Тезисы трудов III всероссийской молодежной школы-семинара «Инновации и перспективы медицинских информационных систем» – Таганрог, 2013. – С.148-151.

13. Ткачук, И.В. Оценка дисбаланса нагрузок в опорно-двигательном аппарате / И.В. Ткачук // Сборник трудов 68-й научно-технической конференции посвященной дню радио СПб НТОРЭС им. А.С. Попова – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. – С. 354-355.

Учебно-методические пособия

14. Настройка протезов нижних конечностей с учетом компенсаторных реакций на дисбаланс нагрузки в статике: *метод. пособие* / Л. М. Смирнова, О.Э. Гаевская, В.Г. Суляев, О.Л. Белянин, И.В. Хлызова., ФГБУ СПб НЦЭПР им. Г.А. Альбрехта Минтруда России. – СПб.: «Знак». – 2013. – 40 с.

Список сокращений:

- БКЦ – биокинематическая цепь;
- БТС – биотехническая система;
- ИИС – информационно-измерительная;
- ОДА – опорно-двигательный аппарат;
- ОДС – опорно-двигательная система;
- ПО – программное обеспечение;