Минобрнауки России

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования   
«Национальный исследовательский университет   
«Московский институт электронной техники»

Институт cистемной и программной инженерии и информационных технологий

(СПИНТех)

Артамонова Анастасия Юрьевна

Магистерская диссертация   
по направлению 09.04.04 «Программная инженерия»

Исследование и разработка методики и алгоритма составления тренировок для реабилитации после травм на основе математической модели движения человека

Студент Артамонова А.Ю

Руководитель,   
Доцент, к.т.н. Федоров А.Р.

Москва 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc160204586)

[ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ 5](#_Toc160204587)

[1.1. Анализ методов моделирования движений человека 5](#_Toc160204588)

[1.2. Анализ средств моделирования движений человека 8](#_Toc160204589)

[1.3. Обоснование метода решения 12](#_Toc160204590)

[Выводы по главе 1 13](#_Toc160204591)

[ГЛАВА 2. ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА СОСТАВЛЕНИЯ ТРЕНИРОВОК 14](#_Toc160204592)

[2.1. Формализованное представление задачи математического моделирования движений 14](#_Toc160204593)

[2.2. Разработка алгоритма составления тренировок 14](#_Toc160204594)

[2.3. Оценка эффективности алгоритма 14](#_Toc160204595)

[Выводы по главе 2 14](#_Toc160204596)

ВВЕДЕНИЕ

В современном обществе вопросы реабилитации после травм и восстановления двигательной активности становятся все более актуальными и значимыми. Увеличение числа случаев травм, особенно в области спорта и повседневной жизни, подчеркивает неотложность не только качественного и эффективного лечения, но и индивидуализированных программ реабилитации.

**Актуальность исследования.** Одним из ключевых моментов в данном контексте является создание методики и алгоритма, основанных на математической модели движения человека, для составления персонализированных тренировочных программ. В настоящее время существует явная потребность в разработке систем, способных учесть индивидуальные особенности пациентов и обеспечить оптимальный путь восстановления после полученных травм.

Научное исследование, направленное на создание математической модели движения человека и разработку алгоритма для составления тренировок, обосновывается стремлением к повышению эффективности реабилитации и улучшению результатов лечения. Предполагаемый результат – инновационный подход к реабилитации, учитывающий не только физиологические аспекты, но и индивидуальные особенности пациента.

Новизна данного исследования заключается в том, что оно стремится заполнить существующий пробел в знаниях, предлагая интегрированный и математически обоснованный метод составления тренировок для реабилитации. Проработанность направления подтверждается предшествующими исследованиями, которые рассматривают биомеханику, кинематику и динамику движений человека, но до сих пор остаются недостаточно ориентированными на создание персонализированных тренировок.

Результаты данного исследования обладают высокой значимостью для области медицины и спорта. Разработка инновационного подхода к реабилитации после травм не только улучшит качество жизни пациентов, но также окажет влияние на развитие методологии тренировок в области физической подготовки и спортивной медицины.

**Проблемная ситуация.** Существующие методики реабилитации часто не учитывают индивидуальные физиологические особенности пациентов, оставляя важные нюансы восстановления без должного внимания. Математически обоснованные методики могут предоставить инструменты для создания персонализированных программ, адаптированных к конкретным потребностям пациентов.

**Объектом исследования** является процесс реабилитации после травм с использованием математических уравнений для моделирования движений человека и разработке алгоритма для составления индивидуализированных тренировок.

**Предмет исследования** является математическое моделирование движений человека в контексте реабилитации после травм, с особым вниманием к разработке алгоритма для индивидуализированных тренировок. В рамках этого исследования рассматриваются методы оптимизации процесса восстановления, учет индивидуальных особенностей пациентов, а также разработка критериев эффективности программ реабилитации.

**Цель и задачи исследования.** Разработка и реализация математической модели движений человека в контексте реабилитации после травм для создания эффективного алгоритма индивидуализированных тренировок.В соответствии с целью и предметом исследования в диссертации необходиморешить следующие задачи:

* аналитический обзор существующих средств и методов моделирования движений человека;
* формализация задачи методики создания тренировок для реабилитации;
* разработка методики создания тренировок для реабилитации;
* разработка алгоритма моделирования движений человека;
* программная реализация разработанной методики и алгоритмов;
* оценка достоверности полученных результатов.

**Научная новизна исследования.** Успешно решена новая задача разработки математической модели движений человека с учетом специфики реабилитации, представляя важный вклад в область медицинского моделирования.

**Обоснованность и достоверность результатов.** Реальность использованных исходных данных при расчетах подтверждает их соответствие физиологическим и биомеханическим характеристикам пациентов, обеспечивая тем самым доверенность результатов.

**Практическая значимость результатов,** полученных в диссертационной работе, заключается в их применимости в медицинской сфере деятельности для оптимизации программ восстановления после травм.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ

* 1. Анализ методов моделирования движений человека

На данный момент существуют множество методов моделирования движений человека.

Биомеханическое моделирование – это метод, целью которого является описание и понимание движений органов и систем человеческого тела с механической точки зрения. Он объединяет инженерные и биологические принципы для создания математических моделей, отражающих сложные взаимодействия внутри человеческого тела во время движения.

Процесс начинается с анализа структуры и функций тканей, мышц, костей и суставов. Эти данные затем интегрируются в математические уравнения, которые описывают движения в различных сценариях. Такие модели учитывают такие важные параметры, как углы суставов, длину мышц, силы, действующие на тело и многое другое.

Преимущество биомеханического моделирования заключается в его способности учитывать сложные биологические факторы, такие как уникальные анатомические особенности, индивидуальные различия в строении тела и изменения с течением времени. Оно обеспечивает более реалистичные и персонализированные результаты, что важно при рассмотрении вопроса о передвижении в медицинских и реабилитационных учреждениях.

Однако существует сложность точной оценки всех параметров, особенно в режиме реального времени, и для адекватного построения моделей требуется значительный биомеханический опыт. Более того, несмотря на значительные технологические достижения, биомеханическое моделирование по-прежнему остается близким к идеализированному представлению из-за сложности учета всех переменных в живом организме.

Кинематическое моделирование фокусируется на описании движений без учета сил и моментов, ответственных за эти движения. Это предполагает анализ положений, траекторий и скоростей объектов без учета причин, вызывающих эти движения.

Кинематическое моделирование изучает такие параметры, как положение, ориентация, скорость и ускорение объектов в пространстве. Это особенно полезно для понимания движений суставов, конечностей и других частей тела.

Кинематическое моделирование широко используется в медицинских и биомеханических исследованиях для анализа движений тела, особенно в диагностике и реабилитации. Кроме того, он находит применение при разработке технологий виртуальной и дополненной реальности, где важно точное воспроизведение движений человека.

Преимуществом кинематического подхода является его относительная простота и высокая точность измерения параметров движения. Такие модели дают четкое представление о том, как изменяются положение и углы на разных фазах движения.

Однако кинематическое моделирование ограничено отсутствием информации о силах, движущих тело. Это может иметь решающее значение в некоторых приложениях, особенно при изучении сложных динамических взаимодействий и воздействий на организм.

Динамическое моделирование – это более сложный подход к описанию движения, поскольку он учитывает силы и моменты, вызывающие это движение. В отличие от кинематического моделирования, в котором основное внимание уделяется параметрам положения и скорости, динамическая модель учитывает воздействие силы и инерции на тело.

Динамическое моделирование анализирует силы, действующие на объект, и их влияние на его движение. Это включает в себя учет массы объекта, распределения массы, инерционных характеристик и внешних сил, таких как гравитация или сопротивление воздуха.

Динамическое моделирование используется в биомеханике, мехатронике, робототехнике и других областях, где важно понять, как силы действуют на движущиеся объекты. Он широко используется при проектировании протезов, создании реалистичной анимации движения и оптимизации программ обучения.

Преимущество динамического подхода заключается в его способности прогнозировать не только положение и скорость объекта, но и силы, действующие на него с течением времени. Это делает его более подходящим для изучения сложных динамических систем, таких как человеческое тело.

Однако динамическое моделирование может быть более сложным и трудоемким, чем кинематическое моделирование, и требует более точных данных о физических характеристиках объекта и задействованных силах.

Метод MoCap (Motion Capture) – передовая технология в области моделирования движений человека. Этот метод использует систему специальных датчиков, часто размещаемых на теле или объекте человека, для регистрации и воспроизведения его движений в реальном времени или для последующего анализа.

Основной принцип MoCap заключается в том, что датчики записывают точки в трехмерном пространстве, представляя движение как набор данных. Эти данные затем можно использовать для создания точной кинематической и даже динамической модели движения.

MoCap имеет приложения в различных областях, включая кинематографию, анимацию, медицинскую диагностику, виртуальную реальность и даже анализ спортивных движений.

К преимуществам метода MoCap относятся высокая точность и реалистичность воспроизведения движения, а также возможность отслеживать даже сложные и быстрые движения. Это делает его ценным инструментом в самых разных областях: от разработки видеоигр до биомеханических исследований.

Однако существуют некоторые ограничения. Во-первых, стоимость оборудования MoCap может быть высокой, особенно для систем с большим количеством датчиков. Во-вторых, точная калибровка и отслеживание требуют времени и навыков. Наконец, в условиях ограниченного пространства или при наличии препятствий между датчиками возможны ошибки регистрации движений.

Методы машинного обучения являются мощным инструментом в области моделирования движений человека. Эти методы основаны на использовании алгоритмов, которые позволяют системе автоматически учиться на данных и делать прогнозы или решения без явного программирования.

Методы машинного обучения нашли применение в различных областях, в том числе в биомеханике, где их можно использовать для анализа и прогнозирования движений человека. Например, в области медицинской реабилитации модели машинного обучения могут адаптироваться к индивидуальным характеристикам пациентов, обеспечивая персонализированные программы восстановления. В спорте эти методы могут помочь проанализировать технику движений и дать рекомендации по улучшению результатов.

К преимуществам методов машинного обучения относится их способность обрабатывать большие объемы данных и выявлять сложные закономерности в движении. Они могут адаптироваться к меняющимся условиям и совершенствоваться с опытом, что делает их гибкими для различных применений.

Однако использование машинного обучения требует значительного объема обучающих данных, и интерпретировать решения, принимаемые алгоритмом, не всегда возможно. Это может привести к «черному ящику» в тех случаях, когда трудно объяснить, как модель пришла к определенному выводу.

* 1. Анализ средств моделирования движений человека

AnyBody Modeling System (ABMS) – это программное обеспечение для биомеханического моделирования, которое позволяет создавать подробные виртуальные модели человеческого тела и анализировать их движения. Его используют в различных областях, в том числе в медицине, спорте, эргономике и других.

Основная идея ABMS – предоставить инструмент для создания анатомически точных моделей скелета, мышц и других тканей человеческого тела. Пользователи могут варьировать параметры модели, такие как длина и мышечная масса, и анализировать, как эти изменения влияют на движения тела.

Система работает на основе принципов обратной динамики, что означает, что она может рассчитывать силы, вызывающие движения, и то, как эти силы влияют на структуры тела. Это особенно полезно при моделировании движений при различных физических нагрузках или при решении реабилитационных задач.

ABMS также интегрируется с данными измерения трафика из систем проверки трафика (таких как Vicon или Motion Analysis), чтобы повысить точность моделей и результатов анализа.

Это программное обеспечение широко используется в исследованиях и разработках, связанных с биомеханикой человеческого тела, и дает возможность более глубокого понимания движения и его влияния на физиологию.

Software for Interactive Musculoskeletal Modeling (SIMM) – программное обеспечение, предназначенное для интерактивного биомеханического моделирования мышц и скелета. Разработан в Институте нейронаук в Сан-Диего. Программа позволяет исследователям создавать подробные компьютерные модели человеческого тела с целью анализа и моделирования движений.

SIMM основан на концепции создания виртуальных 3D-моделей анатомии, включая кости, суставы и мышцы. Пользователи могут взаимодействовать с моделями, чтобы изменять параметры мышц, исследуя, как эти изменения влияют на движения и динамику тела.

Одним из ключевых элементов SIMM является его способность предоставлять подробные данные о моментах силы и требованиях к силе в различных суставах. Это полезно для анализа биомеханики движения и понимания того, как различные факторы влияют на нагрузку на мышцы и суставы.

SIMM также предоставляет инструменты интеграции с данными о движении, позволяя пользователям комбинировать биомеханические модели с экспериментальными данными для более точного анализа. Программа может быть использована в медицинских исследованиях, реабилитационной медицине и создании протезно-ортопедических изделий.

В целом SIMM предоставляет ученым и инженерам мощный инструмент для изучения биомеханики человеческого тела и его движений, а также для разработки улучшенных методов лечения и реабилитации.

Open Simulation for Musculoskeletal Systems (OpenSim) – открытая система моделирования опорно-двигательного аппарата, предоставляющая инструменты для создания детальных вычислительных моделей человеческого тела. Разработан Национальными институтами здравоохранения (NIH) и Стэнфордским университетом.

Основная цель OpenSim – предоставить исследователям и инженерам инструменты для анализа биомеханики движений человека и понимания взаимодействия мышц, костей и суставов. Система позволяет создавать трехмерные модели анатомии, включая скелет, мышцы и другие ткани.

Одним из главных преимуществ OpenSim является его открытость и доступность для научного сообщества. Это позволяет исследователям вносить свой вклад, улучшать систему и обмениваться моделями и данными. OpenSim активно используется в медицинских исследованиях, биомеханике и разработке протезно-ортопедических изделий.

Система позволяет проводить виртуальные эксперименты с моделями, изменять параметры мышц и суставов, чтобы анализировать, как эти изменения влияют на движение и нагрузку на организм. OpenSim также интегрируется с данными движения, позволяя пользователям сравнивать моделирование с реальными данными.

Открытость и гибкость OpenSim делают его важным инструментом для тех, кто занимается биомеханическими и реабилитационными исследованиями. Система поощряет коллективное участие и обмен знаниями, способствуя развитию этой области науки и применению полученных знаний в практике здравоохранения.

Blender — мощное бесплатное программное обеспечение для 3D-моделирования, анимации, рендеринга, композитинга, создания игр и многого другого. Среди его многочисленных возможностей важное место занимает возможность имитировать движения человека.

Одна из лучших особенностей Blender — это то, что он бесплатный и имеет открытый исходный код, что делает его доступным для широкого круга пользователей. Blender предоставляет инструменты для создания персонажей, анимации и 3D-сцен, что делает его полезным инструментом для моделирования движений человека в контексте реабилитации.

В Blender вы можете создавать гуманоидных персонажей, размещать их в разных позах и анимировать их движения. Поддерживая различные форматы данных, Blender может взаимодействовать с данными о движении, полученными из различных источников, таких как системы захвата движения.

Для анализа движений в Blender можно использовать инструменты, позволяющие изменять параметры скелета персонажа, настраивать анимацию и даже проводить виртуальные эксперименты по анализу влияния различных факторов на движения.

Важным аспектом Blender является сообщество пользователей и большое количество обучающих программ. Это облегчает изучение программы и обмен опытом с другими специалистами в области 3D-моделирования и анимации. Таким образом, Blender предоставляет среду, в которой исследователи и практики могут создавать и анализировать движения человека, применяя их в контексте реабилитации.

Vicon Nexus — это программное обеспечение, предназначенное для захвата движения и анализа данных о движении. Это приложение, разработанное компанией Vicon, широко используется в области биомеханики, реабилитации и спорта для детального изучения движений человека.

Одной из основных особенностей Vicon Nexus является возможность захвата движения с использованием систем захвата движения, таких как Vicon Motion Capture Systems. Эти системы позволяют с высокой точностью фиксировать движения, фиксируя движения многих точек на теле человека.

Vicon Nexus предоставляет удобный пользовательский интерфейс, который предоставляет пользователям простой и интуитивно понятный доступ к данным движения. С его помощью исследователи и реабилитологи могут анализировать параметры движения, такие как углы суставов, скорость, ускорение и другие биомеханические параметры.

Программное обеспечение также обеспечивает возможность синхронизации данных о движении с другими данными, такими как данные о силе, электромиографии (ЭМГ) и другими параметрами, обеспечивая полное понимание движений человека.

Vicon Nexus поддерживает широкий спектр форматов данных, обеспечивая совместимость с различными инструментами и позволяя исследователям и специалистам по реабилитации интегрировать различные данные для более комплексного анализа движений.

С помощью Vicon Nexus исследователи и специалисты по реабилитации могут проводить качественный анализ движений, оптимизировать программы реабилитации и лучше понимать биомеханические аспекты движений человека.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) — программная платформа, разработанная National Instruments для создания виртуальных приборов (ВИ), используемых в системах измерения, автоматизации и управления. LabVIEW предоставляет среду графического программирования, в которой разработка осуществляется путем объединения графических блоков, представляющих различные функции и операции.

Одной из ключевых особенностей LabVIEW является интуитивно понятный интерфейс, который позволяет пользователям, в том числе непрограммистам, создавать сложные системы управления и измерения. Программирование в LabVIEW осуществляется путем размещения и соединения графических элементов, называемых блок-диаграммами.

LabVIEW широко используется в научных исследованиях, инженерных приложениях, автоматизации испытаний и измерениях. Платформа поддерживает несколько инструментов и модулей, которые позволяют интегрировать различные типы измерительных приборов и датчиков.

Одной из сильных сторон LabVIEW является возможность создавать собственные ВИ, что позволяет разработчикам адаптировать программное обеспечение к конкретным потребностям и задачам. Это также делает LabVIEW мощным инструментом для моделирования и анализа различных процессов, включая движение человека.

LabVIEW также предоставляет функциональные возможности для обработки данных, визуализации результатов и взаимодействия с внешними устройствами, что делает его полезным инструментом в контексте моделирования движений человека и биомеханического анализа.

MATLAB/Simulink — это мощные инструменты численного моделирования и симуляции, разработанные MathWorks. MATLAB, являясь интерактивной вычислительной средой, предоставляет язык программирования высокого уровня, а Simulink предоставляет среду моделирования визуальных систем.

MATLAB предоставляет обширные математические функции и возможности для работы с матрицами, графиками, статистикой и другими областями. Этот инструмент часто используется для выполнения сложных вычислений, анализа данных и создания алгоритмов. В контексте моделирования движения человека MATLAB может использоваться для математико-биомеханического анализа, оптимизации и решения уравнений движения.

Simulink предоставляет графическую среду, в которой разработчики могут моделировать и симулировать динамические системы, включая многие области — от автоматического управления до биомеханики. Визуальное моделирование в Simulink выполняется с использованием блоков для представления различных элементов системы и линий для представления потока сигналов между этими элементами.

Интеграция MATLAB и Simulink позволяет создавать и анализировать модели сложных систем, включая модели движения человека. Разработчики могут запускать моделирование, оптимизировать параметры модели, а также визуализировать и анализировать результаты, используя богатые графические возможности MATLAB.

Эти инструменты часто используются в областях исследований, связанных с биомеханикой, управлением движением и других областях, требующих анализа и моделирования динамических процессов.

* 1. Обоснование метода решения

Кинематическое моделирование направлено на описание движений, уделяя особое внимание положениям, углам и скоростям суставов и сегментов тела. Этот метод идеален для анализа движений человека, поскольку дает подробную информацию о геометрии и динамике движений.

Выбор кинематического метода обоснован его способностью точно моделировать сложные биомеханические взаимодействия в организме. Такие модели могут учитывать особенности анатомии, строения мышц, их длину и напряжение во время движения. Это позволяет более точно прогнозировать характер движений и оценивать нагрузку на определенные части тела.

Кинематическое моделирование также отличается высокой детализацией и гибкостью, что позволяет адаптировать модель под конкретного пациента. Это особенно важно в условиях реабилитации, где ключевую роль играет индивидуальный подход к тренировкам.

Важным аспектом выбора метода кинематического моделирования является его применимость в реальных клинических условиях. Этот метод широко используется в реабилитационной практике для анализа и оптимизации двигательной активности пациентов, что делает его непосредственно пригодным для решения задач, поставленных в диссертации.

Таким образом, кинематическое моделирование представляется лучшим выбором для исследования, поскольку его характеристики сочетают в себе высокую точность, индивидуализацию и применимость в контексте реабилитации, обеспечивая надежные и актуальные результаты в области, охватываемой данной диссертацией.

Выводы по главе 1

В ходе исследования были произведены следующие работы:

* поставлена цель и задачи исследования;
* определен объект исследования;
* произведен аналитический обзор существующих решений;
* проанализированы основные направления разработки.

ГЛАВА 2. ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА СОСТАВЛЕНИЯ ТРЕНИРОВОК

2.1. Формализованное представление задачи математического моделирования движений

Формализованное представление задачи математического моделирования движений включает в себя несколько важных аспектов.

Для начала необходимо определить объект моделирования. Для данной задачи объектом движения является человеческое тело. Анатомически оно состоит из различных частей, включая конечности (руки и ноги), туловище, голову и шею, каждая из которых имеет свои особенности и суставы. Суставы, которые учитываются в моделирование представлены на рис. 2.1.

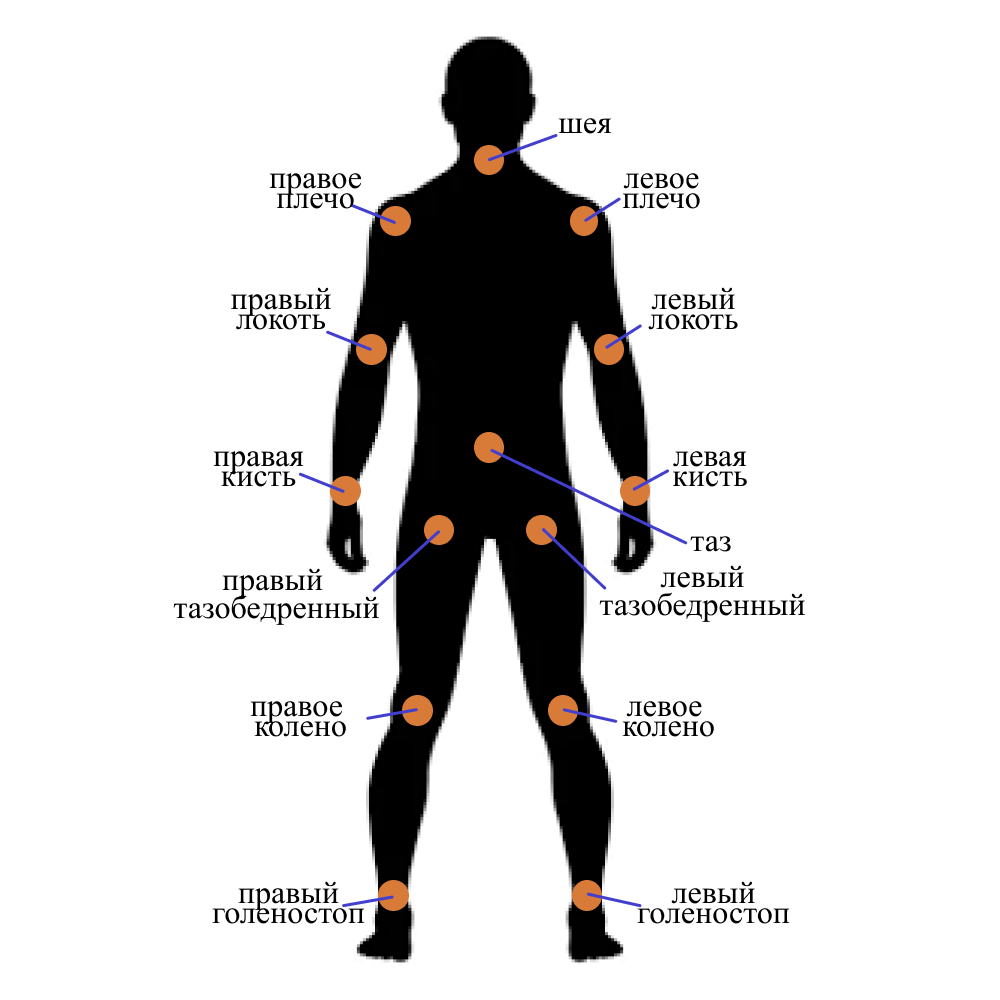


Рис 2.1. – Суставы для моделирования

Кроме того, необходимо учитывать кинематические аспекты движения. Кинематика описывает изменение положения и ориентации тела в трехмерном пространстве с течением времени. Для моделирования движений тела человека важно учитывать такие параметры, как скорость, ускорение, угловые скорости и угловые ускорения, а также координаты точек, описывающих положение тела.

В этой задаче в качестве основного метода выбрано кинематическое моделирование. Этот выбор определяется характеристиками объекта исследования, а именно организма человека, и целями исследования, связанными с восстановлением и реабилитацией после травм и травматических состояний.

Кинематическое моделирование позволяет описывать движение объекта без учета действующих сил, ориентируясь на изменение его положения и ориентации в пространстве во времени. Этот подход подходит для анализа движений тела человека в условиях реабилитации, поскольку позволяет описать движения конечностей, суставов и тела в целом, не вдаваясь в подробности механизмов, вызывающих эти движения.

Выбор кинематического моделирования обусловлен также его широким использованием в предыдущих исследованиях в области биомеханики и реабилитации. Во многих работах уже используются кинематические модели для анализа движений человеческого тела и разработки методов реабилитации, что составляет основу знаний и опыта для текущих исследований.

Для формулирования уравнений движения необходимо учесть кинематические характеристики каждого сустава и взаимодействие между ними.

Как центральный сустав возьмем сустав таза, который будет отвечать за положение тела в пространстве, а также от него будут зависеть другие суставы. Тогда уравнение движения и вращения таза по оси X образуют следующую систему уравнений:

Аналогичные уравнения для осей Y и Z добавляются в систему. На рис. 2.2 представлены названия расстояний от одного сустава до другого.

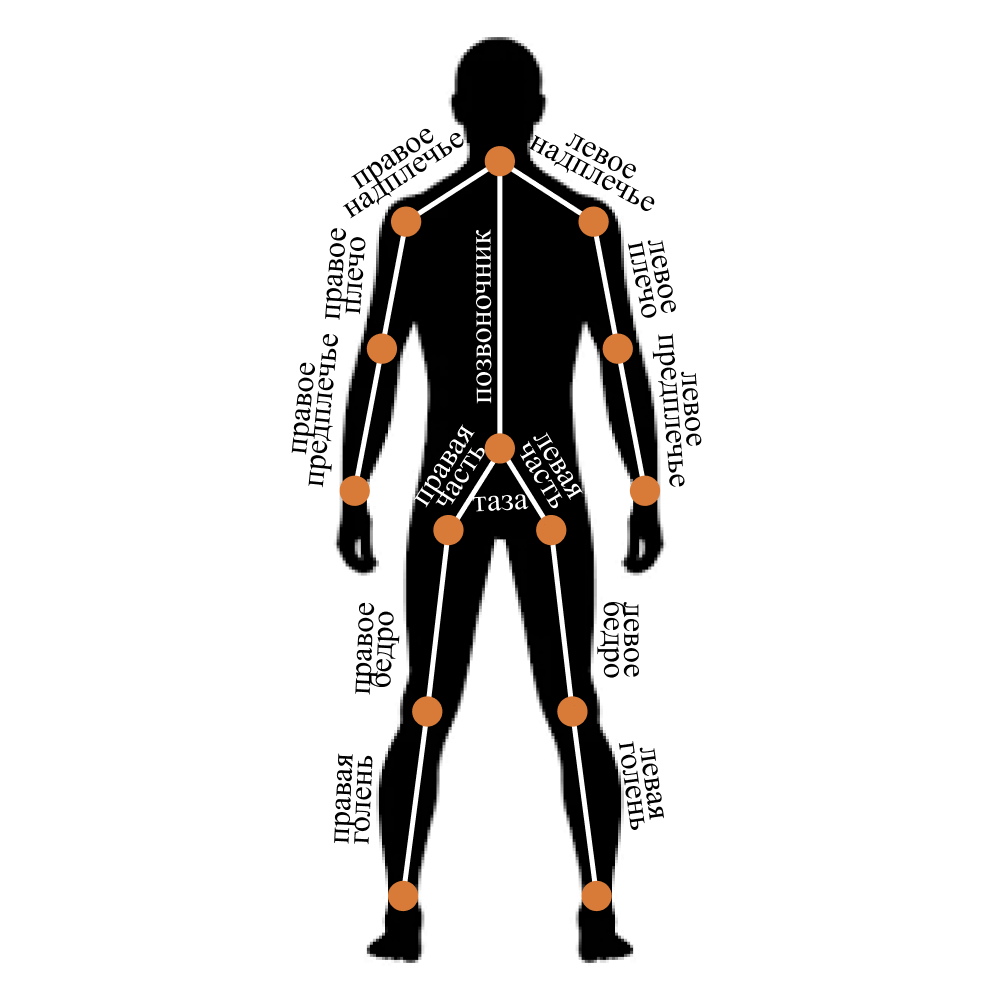


Рис 2.2. – Расстояния от одного сустава до другого

Расположение осей идет следующим образом: ось Z от стоп к макушке (на рисунке 2.2 вверх), ось Y от спины к животу (на рисунке 2.2 на нас), ось X от левой части тела к правой (на рисунке 2.2 налево). Проекция суставов на плоскости XOZ, YOZ, XOY представлены на рисунках 2.3, 2.4, 2.5 соответственно.

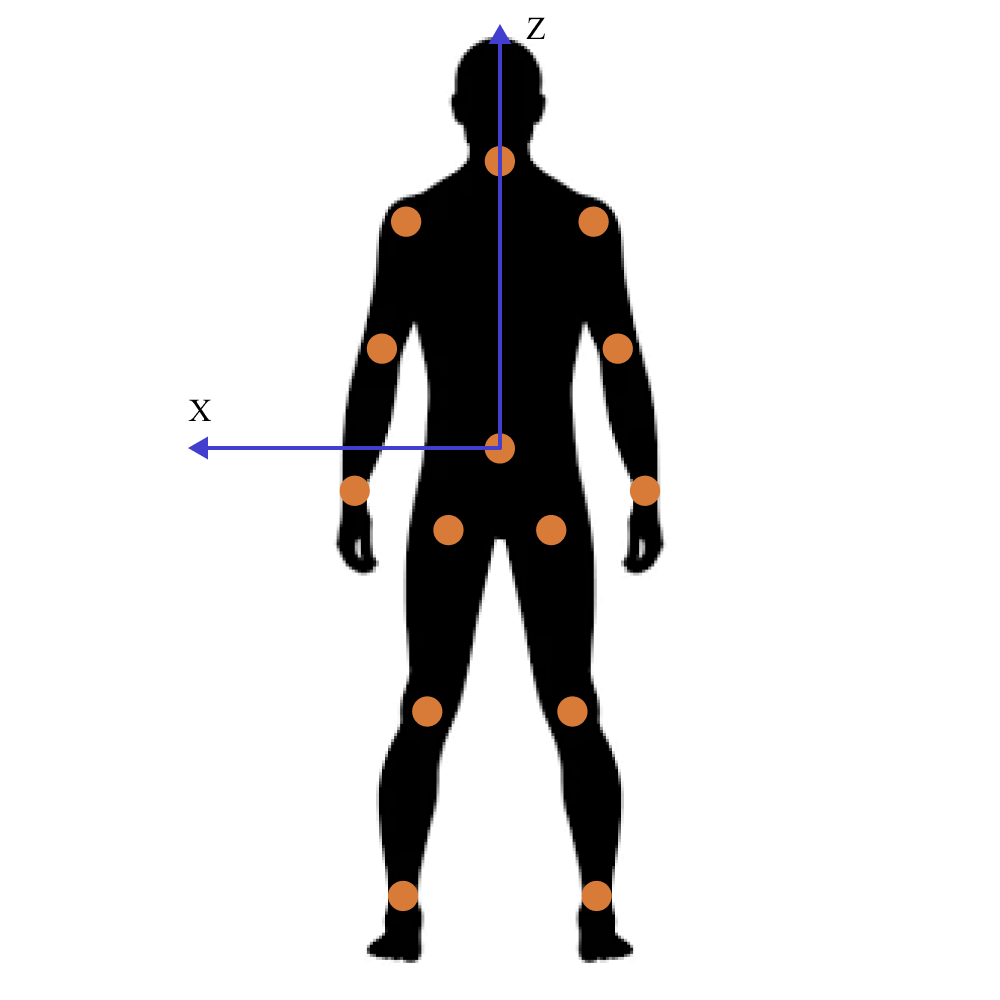


Рис 2.3. – Проекция суставов на плоскость XOZ

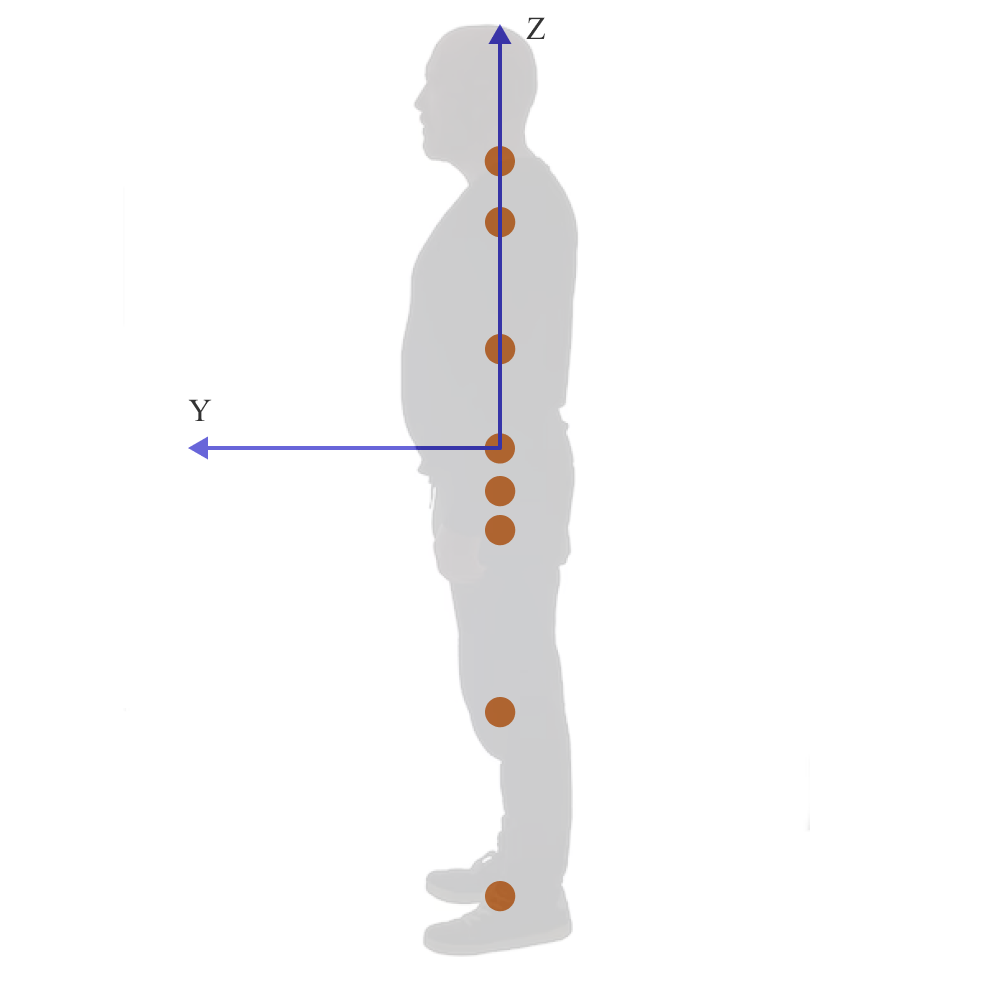


Рис 2.4. – Проекция суставов на плоскость YOZ

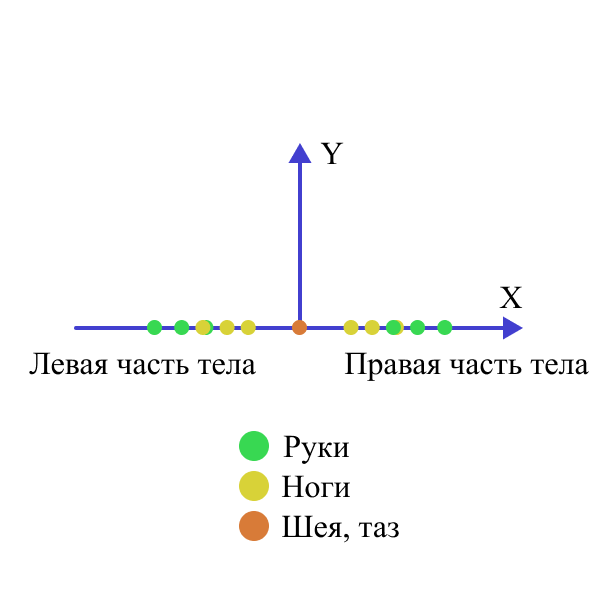


Рис 2.5. – Проекция суставов на плоскость XOY

Координаты правого и левого тазобедренных суставов по оси X различается, а по осям Y и Z вычисляется одинаково:

Скорость и ускорение тазобедренных суставов совпадает со скоростью и ускорением таза по всем осям:

Уравнение вращения тазобедренных суставов не зависит от уравнения вращения таза, поэтому описывается так для всех осей:

Уравнения движения и вращения правого и левого колена зависят от правого и левого тазобедренного сустава соответвенно. В общем виде по оси X формируется следующая система уравнений:

По оси Z:

Аналогично выглядят уравнения движения и вращения для стопы:

Дальнейший план

Определение начальных и граничных условий: Установление начальных положений и скоростей объекта, а также граничных условий, связанных с окружающей средой или другими ограничениями.

Решение уравнений движения: Применение численных методов или аналитических решений для нахождения траекторий и параметров движения объекта во времени.

Проверка и валидация модели: Проверка адекватности и точности моделирования путем сравнения результатов с экспериментальными данными или предшествующими исследованиями.

Модификация и уточнение модели: В случае необходимости внесение корректив и доработок в модель на основе полученных результатов или новой информации.

2.2. Разработка алгоритма составления тренировок

2.3. Оценка эффективности алгоритма

Выводы по главе 2