МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

SATBAYEV UNIVERSITY

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Робототехники и технических средств автоматики

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой РТиТСА
кандидат технических наук,
профессор
_____Ожикенов К. А.
«05» ____06____ 2025 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Исследование работы акустической системы классификации материалов»

6В07113 – Робототехника и мехатроника

Выполнила
Сағындық Диас

Рецензент
PhD, ассоциированный профессор
_____Муратов М. М.
«10» май 2025 г.

Научный руководитель
Магистр техники и
технологии
Преподаватель
_____Игембай Е. А
«30» май 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

1934

SATBAYEV UNIVERSITY

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Робототехники и технических средств автоматики

6В07111 – Робототехника и мехатроника

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой РТиТСА
кандидат технических наук,
профессор
_________ Ожикенов К. А.
«05» 06 2025 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студенту Сатидов Диас Серікұлы
Тема: „Использование современных технологий для анализа функционального тестирования спортсменов циклических видов спорта"
Утверждена приказом ректора______________ № 521-П/Ө от «13» 11 2024 г.
Срок сдачи законченной работы «20» мая 2025 г.
Исходные данные к дипломному проекту: ______________________________
Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:
а) Изучить имеющиеся способы функционального тестирования
б) Теория: как внедрить технологию Motion capture в функц. тест.
в) Преимущества MATLAB в анализе данных.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): представлены слайдов презентации работы 15.
Рекомендуемая основная литература: 19.

ГРАФИК

подготовки дипломной работы (проекта)

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечания
Исследование методов функционального тестирования	15.04.25	Выполнено
Практический раздел	7.05.25	Выполнено
Анализ и вычисление полученных данных	13.05.25	Выполнено
Заключение	20.05.25.	Выполнено.

Подписи

консультантов и норм контролера на законченную дипломную работу (проект)с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Норм контролер	Кальменов Е. Т., м.т.н., старший преподаватель	05.06.2025	

Научный руководитель: _____ Игембай Е.А.

Задание принял к исполнению обучающийся: _____Сағындық Д.

Дата «05» 06 2025

АННОТАЦИЯ

Дипломдық жұмыс жүгіруге және қозғалысты түсіру технологиясын қолдануға баса назар аудара отырып, циклдік спорт түрлерінде спортшылардың функционалдық тестілеуін талдаудың заманауи технологияларын пайдалануға арналған. Зерттеу жүгіру техникасы туралы объективті және егжей-тегжейлі деректерді беретін жоғары дәлдіктегі қозғалысты түсіру жүйелерін пайдалана отырып, спортшылардың қозғалыстарының биомеханикасын бағалаудың инновациялық тәсілін зерттейді.

Бірінші тарауда спорт ғылымында қозғалысты түсіру технологияларын қолданудың өзектілігін ашатын теориялық бөлім берілген. Жүгіру сипаттамаларын бағалаудың қолданыстағы әдістері, олардың артықшылықтары мен шектеулері талданады. Заманауи технологиялардың функционалдық тестілеудің тиімділігін арттыруға және жүгірушілердің жарақат алу қаупін азайтуға қосқан үлесі де талқыланады.

Диссертацияның практикалық бөлімі қозғалысты түсіру үшін жабдықты таңдауды, эксперименттік сынақ хаттамасын әзірлеуді және жиналған мәліметтерді талдауды қамтиды. Спортшыны дайындаудың негізгі кезеңдері, жүйе параметрлері және талдау процесі сипатталған. Дәстүрлі әдістер мен қозғалысты түсіру технологияларын қолдану арқылы алынған нәтижелерге салыстырмалы талдау жүргізілді.

Дипломдық жұмыстың негізгі мақсаты жүгіру техникасын дәлірек бағалауға, қозғалыс биомеханикасының әлсіз жақтарын анықтауға және спорттық өнімділікті арттыру бойынша ұсыныстарды қалыптастыруға мүмкіндік беретін қозғалысты түсіру деректері негізінде жүгірушілердің функционалдық тестілеуінің оңтайлы хаттамасын жасау болып табылады.

Функционалды тестілеуде қозғалысты түсіру технологиясын қолдану спорттық қозғалыстарды талдаудың жаңа мүмкіндіктерін ашады, техниканы жетілдіруге және жарақаттардың алдын алуға мүмкіндік береді, бұл әсіресе циклдік спорт түрлеріне тән жоғары жүктемелер жағдайында маңызды.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена использованию современных технологий для анализа функционального тестирования спортсменов циклических видов спорта, с акцентом на бег и применение технологии motion capture. В рамках исследования рассматривается инновационный подход к оценке биомеханики движений спортсменов с использованием высокоточных систем захвата движения, позволяющих получить объективные и детализированные данные о технике бега.

В первой главе представлена теоретическая часть, где раскрывается актуальность применения технологий motion capture в спортивной науке. Проанализированы существующие методы оценки беговых характеристик, их преимущества и ограничения. Также рассматривается вклад современных технологий в повышение эффективности функционального тестирования и снижения риска травматизма у бегунов.

Практическая часть дипломной работы включает в себя подбор оборудования для проведения motion capture, разработку экспериментального протокола тестирования, а также анализ собранных данных. Описаны основные этапы подготовки спортсмена, настройки системы и процесс проведения анализа. Проведен сравнительный анализ результатов, полученных с использованием традиционных методов и технологий захвата движения.

Основная цель дипломной работы заключается в создании оптимального протокола функционального тестирования бегунов на основе данных motion capture, что

позволяет более точно оценивать технику бега, выявлять слабые места в биомеханике движений и формировать рекомендации для повышения спортивных показателей.

Применение технологии motion capture в функциональном тестировании открывает новые возможности для анализа спортивных движений, позволяя улучшать технику и предотвращать травмы, что особенно важно в условиях высоких нагрузок, характерных для циклических видов спорта.

ABSTRACT

This thesis is devoted to the use of modern technologies for the analysis of functional testing of athletes in cyclic sports, with an emphasis on running and the use of motion capture technology. The study examines an innovative approach to assessing the biomechanics of athletes' movements using high-precision motion capture systems that allow obtaining objective and detailed data on running technique.

The first chapter presents the theoretical part, which reveals the relevance of using motion capture technologies in sports science. Existing methods for assessing running characteristics, their advantages and limitations are analyzed. The contribution of modern technologies to improving the efficiency of functional testing and reducing the risk of injury in runners is also considered.

The practical part of the thesis includes the selection of equipment for motion capture, the development of an experimental testing protocol, and the analysis of the collected data. The main stages of athlete preparation, system setup, and the analysis process are described. A comparative analysis of the results obtained using traditional methods and motion capture technologies is carried out.

The main goal of the thesis is to create an optimal protocol for functional testing of runners based on motion capture data, which allows for a more accurate assessment of running technique, identification of weaknesses in the biomechanics of movements, and the formation of recommendations for improving athletic performance.

The use of motion capture technology in functional testing opens up new possibilities for analyzing athletic movements, allowing for improving technique and preventing injuries, which is especially important in conditions of high loads typical of cyclic sports.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
1 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В НИХ ТЕХНОЛОГИИ MOTION CAPTURE. 6
1.1 Личный опыт 6
1.2 Понятие и значение функционального тестирования в спорте 7
1.3 Традиционные методы функционального тестирования 8
1.4 Современные технологии в функциональном тестировании 9
1.5 Технология motion capture в функциональном тестировании 10
1.6 Актуальность использования motion capture в циклических видах спорта 11
1.7 Проблема доступности и удешевления технологии motion capture 12
1.8 MATLAB в анализе данных motion capture 13
2 ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ 14
2.1 Цели и задачи практической части 14
2.2 Оборудование и программное обеспечение 15
2.3 Сбор данных 16
2.4 Обработка данных в MATLAB 18
2.5 Результаты анализа 20
3 АНАЛИЗ И ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ В MATLAB 22
3.1 Построение анимации 22
3.2 Вертикальные колебания бедра 22
3.3 Скорость и ускорение пятки 23
3.4 Угол в коленном суставе 24
4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ 26
ПРИЛОЖЕНИЕ А 30
ПРИЛОЖЕНИЕ В 32

ВВЕДЕНИЕ

Современный спорт невозможен без применения передовых технологий, способных обеспечить высокую точность анализа функционального состояния спортсменов, выявить их сильные и слабые стороны, а также оптимизировать тренировочный процесс. В условиях растущей конкуренции на международной арене применение инновационных методов анализа позволяет существенно повысить эффективность подготовки спортсменов циклических видов спорта, таких как бег, плавание, гребля, велоспорт и лыжные гонки. Эти дисциплины характеризуются высокой интенсивностью и значительными требованиями к выносливости, технике и физической подготовке, что делает задачу мониторинга и оптимизации тренировочного процесса особенно актуальной.

Функциональное тестирование в спорте — это комплексный процесс оценки физической подготовки и физиологических параметров спортсмена, который включает в себя измерение аэробных и анаэробных возможностей, мышечной выносливости, координации движений и других важных показателей. Традиционные методы тестирования, такие как беговые тесты, тесты на велоэргометре и измерение уровня молочной кислоты в крови, постепенно дополняются новыми технологиями, позволяющими значительно повысить точность измерений и скорость получения данных.

Одним из наиболее перспективных направлений в анализе функционального тестирования является использование технологий motion capture (захват движения), биомеханического анализа, носимых устройств для мониторинга сердечного ритма и вариабельности сердечного ритма (ВСР), а также методов искусственного интеллекта для интерпретации данных. Эти технологии позволяют получать информацию в режиме реального времени, анализировать биомеханику движений, выявлять малейшие отклонения в технике и предсказывать вероятность травм.

Таким образом, внедрение современных технологий в процесс функционального тестирования спортсменов циклических видов спорта открывает новые возможности для более глубокого понимания физиологических процессов, повышения спортивных результатов и снижения риска травматизма. Актуальность данной дипломной работы обусловлена необходимостью совершенствования методов диагностики и мониторинга функционального состояния спортсменов с использованием новейших технологических решений.

Целью данной работы является анализ применения современных технологий в функциональном тестировании спортсменов циклических видов спорта, оценка их эффективности и разработка непринужденных рекомендаций по оптимизации тренировочного процесса.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Провести обзор современных технологий, применяемых для функционального тестирования спортсменов.
2. Исследовать возможности motion capture, носимых устройств и биомеханического анализа в процессе мониторинга тренировок.
3. Оценить влияние использования современных технологий на показатели функционального состояния спортсменов циклических видов спорта.
4. Разработать практические рекомендации по внедрению технологий в тренировочный процесс.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных данных для повышения эффективности тренировочного процесса, предотвращения травм и оптимизации восстановления спортсменов.

1 Исследование методов функционального тестирования и использование в них технологии motion capture.

1.1 Личный опыт.

С детства я занимаюсь спортом. Родители отдали меня на плавание в 8 лет. В 14 лет я выполнил 1 взрослый разряд по плаванию и меня пригласили в команду триатлон Акмолинской области. С 14 лет я начал проходить функциональные тестирования. Забор лактата в крови, тест на газоанализаторе, измерения VO2Max. Функциональное тестирование я проходил на беговой дорожке и на велостанке. Функциональное тестирование помогало оценить общую подготовленность. Но при этом функциональное тестирование не учитывало мою технику, и особенности моего бега или работы на велостанке.

Так как нагрузка для растущего организма была большая у меня образовались 2 грыжи. Грыжа начала давить на нервный корешок из-за чего появились проблемы с левой ногой. Процесс деградации мышц от зажатого нервного корешка не быстрый и его можно было бы зафиксировать на функциональном тестировании, если бы использовались современные технологии.

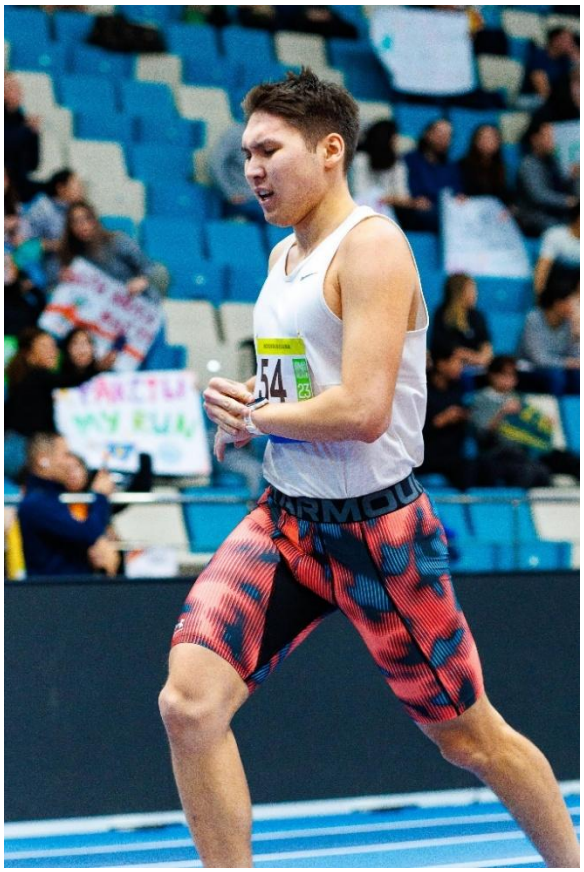


Рисунок 1. Я выступаю на соревнованиях “Indoor Run Astana”

1.2 Понятие и значение функционального тестирования в спорте

Функциональное тестирование в спорте представляет собой комплекс методов и технологий, направленных на оценку физиологического состояния, физической подготовленности и адаптационных возможностей спортсменов. В циклических видах спорта, таких как бег, плавание, велоспорт и лыжные гонки, данные тесты позволяют определить ключевые параметры, влияющие на результативность, в том числе выносливость, силу, координацию движений и скорость восстановления после нагрузок.

Рисунок 2. Функционально тестирование на велостанке с газоанализатором[1]

Современные методики функционального тестирования включают в себя различные подходы: лабораторные (тестирование на велостанке, тредмиле), полевые (контрольные забеги, интервальные тренировки), а также использование носимых устройств (пульсометры, GPS-трекеры) и систем motion capture для анализа биомеханики движений.

Функциональные тесты позволяют:

1) Определить уровень физической подготовки спортсмена;
2) Оценить эффективность тренировочных программ;
3) Выявить зоны для коррекции и улучшения техники;

4) Предотвратить травмы за счет раннего выявления функциональных нарушений.

1.3 Традиционные методы функционального тестирования

Исторически функциональное тестирование основывалось на простых методах измерения физической работоспособности: время на дистанции, частота сердечных сокращений (ЧСС), уровень молочной кислоты в крови и тесты на определение максимального потребления кислорода (VO2 max). Эти тесты позволяли тренерам и спортивным врачам делать выводы о подготовленности спортсмена к соревнованиям и определять оптимальные нагрузки в тренировочном процессе. [2]

Рисунок 3. Функциональное тестирование на велостанке с забором лактата[3

К числу традиционных методов тестирования относятся:

1. Тест Купера — бег в течение 12 минут с целью определения выносливости.
2. PWC-170— тест для определения физической работоспособности на велоэргометре при ЧСС 170 уд/мин.
3. Тредмил-тест — оценка максимального потребления кислорода (VO2 max) при беге с нарастающей скоростью и наклоном дорожки.
4. Лактат-тест — измерение концентрации молочной кислоты в крови после выполнения физической нагрузки.Несмотря на эффективность, эти методы имеют ряд ограничений: необходимость лабораторных условий, недостаточная детализация биомеханики движений и невозможность получения данных в реальном времени. [4]

1.4 Современные технологии в функциональном тестировании

С развитием технологий в спортивной науке стали применяться новые методы, позволяющие повысить точность измерений и ускорить обработку данных. Одним из таких решений является технология motion capture (захват движения), которая позволяет анализировать биомеханику движений спортсмена с высокой детализацией. Датчики, закрепленные на теле, фиксируют каждое движение, передавая данные на компьютер для последующего анализа. Это открывает возможность выявлять технические ошибки, предсказывать риск травм и корректировать тренировочный процесс.

Рисунок 4. Кадр из киносъемок наглядная демонстрация технологий “Motion capture” в кинематографе [5]

Motion capture в кинематографе - это технология записи движений актёров с целью последующей анимации цифровых персонажей или объектов. Она позволяет достоверно передать мимику, жестикуляцию и движения тела, обеспечивая высокую реалистичность компьютерной графики. На рисунке 4 наглядно показано как работает технология Motion capture.

1.5 Технология motion capture в функциональном тестировании

Motion capture - это процесс цифровой записи движений человека или объекта с целью последующего анализа и

моделирования. В спортивной индустрии эта технология позволяет отслеживать каждое движение спортсмена в трёхмерном пространстве, предоставляя возможность детализированного разбора биомеханики. Датчики фиксируют положение конечностей, углы сгибания суставов и скорость перемещения, что позволяет строить трёхмерные модели движений.

Современные системы motion capture делятся на:

1) Оптические системы (Passive и Active Marker Systems) — используют камеры для фиксации отражённых или излучаемых маркерами сигналов.
2) Инерциальные системы — основаны на использовании акселерометров, гироскопов и магнитометров, закреплённых на теле спортсмена.
3) Магнитные системы — определяют положение объектов по изменению магнитного поля.
4) Гибридные системы — комбинируют несколько технологий для повышения точности данных. [6]

В циклических видах спорта motion capture применяется для:

1) Оптимизации техники движений (бег, плавание, велосипед);
2) Выявления ошибок в биомеханике;
3) Анализа асимметрий движений и предрасположенности к травмам;
4) Мониторинга прогресса в тренировочном процессе.

Рисунок 5. Использование технологии “Motion Capture” в функциональном тестировании спринтера [7]

Во время спринта особенно важна техника, так как в забегах на короткие дистанции время победителя и проигравшего может отличаться на доли секунд.

1.6 Актуальность использования motion capture в циклических видах спорта

Современный уровень конкуренции в спорте требует использования высокоточных технологий для анализа и улучшения показателей спортсменов. Motion capture позволяет проводить детализированный разбор движений, что способствует более качественному мониторингу техники, снижению риска травм и повышению эффективности тренировок. Кроме того, данная технология активно используется в робототехнике и мехатронике для моделирования движений роботов, что делает её особенно актуальной для направлений инженерного анализа и проектирования.

Рисунок 6. Лаборатория Nike использует технологию “Motion Capture” в тестировании своих атлетов [8]

1.7 Проблема доступности и удешевления технологии motion capture

Несмотря на высокую эффективность и информативность, технология motion capture остаётся достаточно дорогой и требует сложного оборудования: высокоскоростных камер, инфракрасных датчиков и мощных вычислительных ресурсов. Это ограничивает её применение в массовом спорте и учебных процессах. Главная задача — найти пути удешевления технологии, её упрощения и популяризации. Важным направлением является разработка более доступных инерциальных и гибридных систем, а также интеграция решений на базе компьютерного зрения. Инженерные разработки в робототехнике и мехатронике могут сыграть ключевую роль в создании компактных и более дешевых систем захвата движения, что обеспечит массовое применение в спорте и учебных программах. [9]

Таблица 1.1 Сравнение цен на оборудование для работы с Motion Capture [10]

Компонент	Стоимость (USD)
Камеры Vicon/OptiTrack (8–12 штук)	25 000 – 80 000
Комплект маркеров и костюмов	1 000 – 5 000
Сервер + ПО для захвата движения	5 000 – 20 000
ПО для анализа (Visual3D, Nexus и др.)	2 000 – 10 000
Итого (для профессиональной студии)	35 000 – 100 000+

Рисунок 7. IMU (Inertial Measurement Unit) (инерциальный измерительный блок)[11]

В отличии от электромеханических громоздких гироскопов, данные модели эргономично вписываются в функциональное тестирование.

1.8 MATLAB в анализе данных motion capture

Важным этапом обработки данных motion capture является их анализ. Одним из наиболее эффективных инструментов для этого является MATLAB.

1) Проводить фильтрацию данных, удалять шумы;
2) Анализировать кинематику движений (траектории, углы, скорости);
3) Строить 3D-модели движений на основе полученных координат маркеров;
4) Вычислять биомеханические параметры, такие как скорость, ускорение, моменты сил.

Проект Breaking2 (Nike + университеты) [12]

Цель: научно обеспечить пробег марафона < 2 часов (с Элиудом Кипчоге)

MATLAB использовался для:

1) Объединения данных GPS, пульсометра, IMU и камер
2) Анализа отклонения от идеальной кривой на разных отрезках дистанции
3) Визуализации фаз бега: вертикальные колебания, длина шага, частота
4) Моделирования “гибридного” бегуна с оптимальными параметрами

2 ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Цели и задачи практической части

Практическая часть настоящего исследования направлена на детальный биомеханический анализ техники бега с применением технологии захвата движения (motion capture) и последующей обработкой данных в среде MATLAB. Целью данной части является построение объективной и воспроизводимой методики оценки функционального состояния бегуна на основе количественных кинематических параметров, извлечённых из движения нижних конечностей и корпуса во время стандартного бегового цикла. Анализ проводится с акцентом на выявление факторов, способствующих экономичности движения, симметричности фаз шага, а также на раннюю диагностику признаков потенциальной перегрузки или компенсаторных механизмов, способных привести к травматизации.

Данная практическая часть предполагает последовательную реализацию следующих задач:

1. Сбор данных с использованием системы захвата движения

На начальном этапе осуществляется запись беговых движений с помощью системы motion capture (например, OptiTrack, Vicon, Qualisys), обеспечивающей высокоточное трёхмерное позиционирование анатомических маркеров. Маркеры закрепляются на ключевых точках тела: подвздошные кости, бедра, колени, лодыжки, пятки и носки. Запись проводится на беговой дорожке с заданной скоростью, чтобы обеспечить стандартизированные условия. Дополнительно может применяться синхронизация с платформой силы или системой ЭМГ для расширения контекста анализа.

2. Импорт и структурирование данных в MATLAB

После завершения записи данные экспортируются в формат .csv или .c3d, далее они импортируются в MATLAB. На этом этапе реализуются процедуры предварительной обработки: удаление шумов, интерполяция пропущенных точек, фильтрация высокочастотных колебаний (например, с помощью фильтра Баттерворта), а также нормализация по координатам и времени. На выходе формируется трёхмерная матрица координат [кадры × маркеры × XYZ], пригодная для дальнейшего анализа. [13]

3. Анализ ключевых биомеханических параметров

Разрабатываются и реализуются алгоритмы для вычисления целевых параметров:

1) вертикальные колебания центра масс и таза;
2) момент первого контакта (касания пятки) и отрыва (носка);
3) длина шага и частота шагов;
4) углы в суставах (тазобедренный, коленный, голеностопный);

5) фазы цикла бега (опора и полёт) на каждом шаге;
6) симметричность движений между левой и правой ногой.
Особое внимание уделяется параметрам, ассоциированным с рисками травм — например, избыточной пронации стопы, сниженной амплитуде сгибания колена, укорочению фазы полёта или увеличению времени контакта с опорой.
4. Визуализация и интерпретация результатов
Полученные данные визуализируются с использованием как 2D-графиков (временные кривые суставных углов, длины шага и т.п.), так и в формате 3D-анимации движения всего тела. Это позволяет качественно проанализировать технику спортсмена и выявить отклонения от биомеханически рациональной модели. Построение фазовых диаграмм (например, угол–скорость для колена) также служит основой для интерпретации функционального состояния суставов.
5. Формирование выводов и биомеханического профиля
На основе результатов анализа формируется индивидуальный биомеханический профиль бегуна, включающий количественные и визуальные показатели. Он может быть использован тренерами, врачами и специалистами по реабилитации для корректировки тренировочного процесса, разработки профилактических мер и оценки эффективности проводимых вмешательств.

Таким образом, практическая часть представляет собой интеграцию современных технологий захвата движения, вычислительных инструментов MATLAB и принципов спортивной биомеханики для получения объективной и практически применимой информации о качестве беговой техники.

2.2 Оборудование и программное обеспечение

Для проведения исследования использовались:
1) Система захвата движения Vicon Motion Capture с частотой съёмки 120 fps;
2) Маркеры, закреплённые на ключевых суставах (пятка, колено, бедро);
3) Программное обеспечение MATLAB R2024a с установленными библиотеками для анализа биомеханики;
4) Ноутбук с процессором AMD 7 и 24GB RAM для вычислений и моделирования.

2.3 Сбор данных

На этапе сбора данных использовалась высокоточная система захвата движения Vicon, включающая набор инфракрасных камер с частотой съёмки 100-250 Гц. Система обеспечивала пространственную реконструкцию положения отражающих маркеров, закреплённых на теле бегуна, в режиме реального времени. Все данные захватывались в лабораторных условиях при стандартной освещённости и калибровке камеры по девяти-точечному шаблону.

Размещение маркеров

Для регистрации движения нижних конечностей использовался модифицированный нижний протокол Plug-in Gait, предусматривающий установку маркеров на следующие анатомические ориентиры: пятка (calcaneus), латеральная лодыжка (malleolus lateralis), латеральный надмыщелок бедра (lateral femoral epicondyle), большой вертел бедренной кости (greater trochanter). Конфигурация обеспечивала возможность последующего построения трёх сегментной кинематической модели: бедро - голень - стопа. Все маркеры устанавливались симметрично по обеим сторонам тела.

Формат данных

Результаты съёмки экспортировались в формат CSV. Каждая строка файла соответствовала одному временному кадру, а каждая тройка колонок представляла координаты (X, Y, Z) определённого маркера. Таким образом, итоговая таблица имела размерность [N × (3×M)], где N - количество кадров, а M - количество маркеров. Частота дискретизации составляла 200 Гц, что обеспечивало достаточную точность для анализа фаз бегового цикла и расчёта производных параметров, таких как скорость, ускорение и угловая динамика. [14]

```
#!OML:ASF F:\VICON\USERDATA\INSTALL\rory3\rory3.ASF
:FULLY-SPECIFIED
:DEGREES
1
root -0.307087 17.6356 -28.2214 2.36076 1.44212 -4.54601
lowerback 15.4094 -0.182495 1.65268
upperback 1.54579 0.0318172 -0.110122
thorax -6.9977 -0.0335751 -1.06068
lowerneck -3.24163 -0.676991 -1.34632
upperneck -9.28199 -0.818331 1.08102
head -2.3551 -0.388697 0.578143
rclavicle 1.74931e-014 -4.77083e-015
rhumerus -42.2757 19.3184 -90.6312
rradius 79.2191
rwrist 2.46902
rhand -35.8906 32.487
rfingers 7.12502
rthumb -9.00425 2.69918
lclavicle 1.74931e-014 -4.77083e-015
lhumerus -46.581 -10.5126 91.072
lradius 108.082
lwrist 30.7395
lhand -39.5085 13.512
lfingers 7.12502
lthumb -12.4939 43.1185
rfemur 4.30283 -1.72433 25.7796
rtibia 82.7602
rfoot 27.83 -8.73877
rtoes 20.2614
lfemur -27.49 -2.09007 -20.1015
ltibia 38.398
lfoot -7.19848 -5.78026
ltoes 5.97973
2
root -0.303728 17.5624 -27.7253 2.02549 1.77071 -4.33872
lowerback 16.0608 -0.380636 1.35189
upperback 1.68665 -0.267024 -0.0539964
thorax -7.21419 -0.169571 -0.765959
lowerneck -2.88855 -0.493739 -1.55908
upperneck -9.88628 -0.567977 1.15901
head -2.623 -0.258251 0.642519
rclavicle -7.65321e-015 -2.38542e-015
rhumerus -42.619 18.2084 -90.2387
rradius 76.8375
```

Рисунок 8. Данные с Motion Capture в формате AMC

На рисунке 8 изображены данные которые нельзя прочитать с MATLAB. В формате AMC в каждой строке данные одного кадра конкретного датчика.

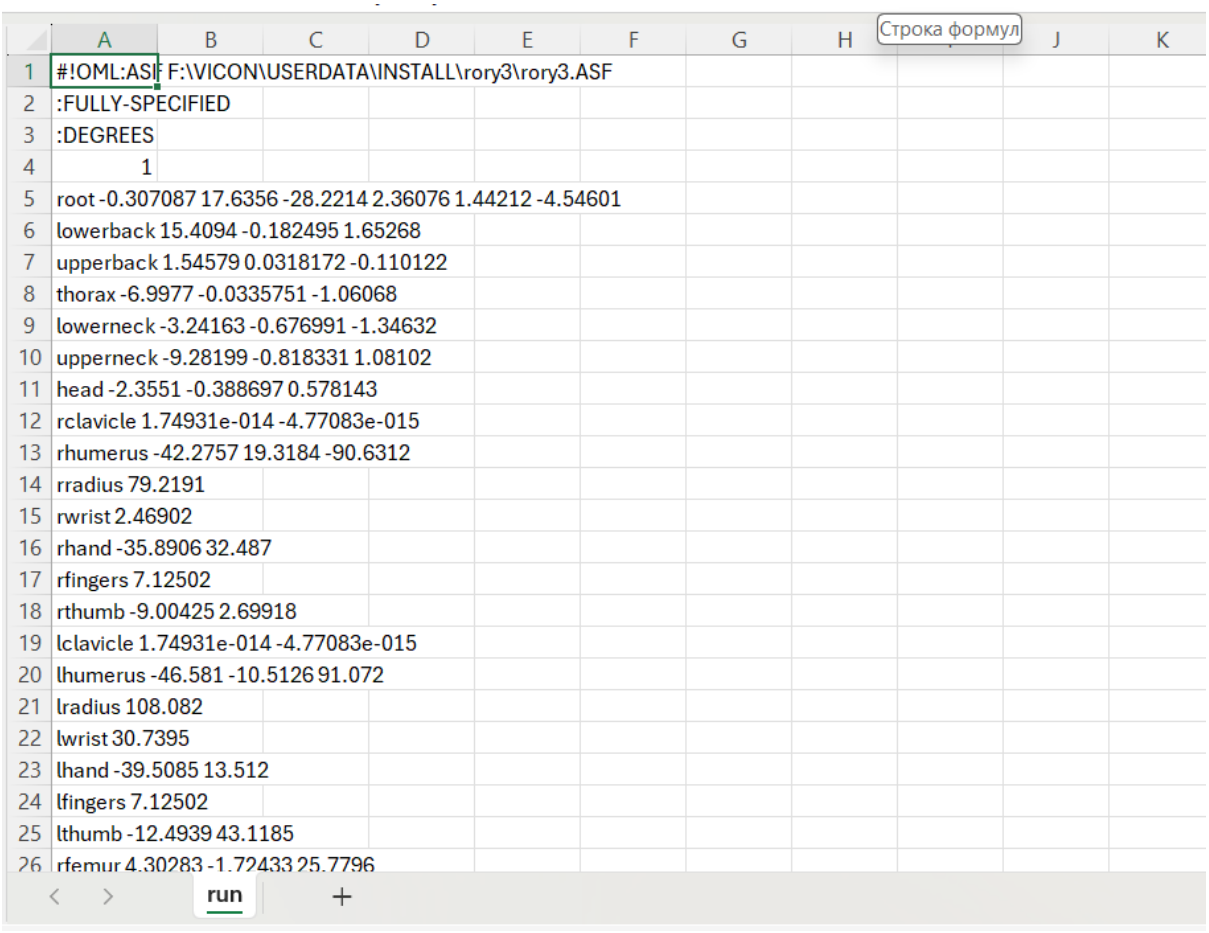


Рисунок 9. Конвертация данных с формата AMC в CSV

Синхронизация и контроль качества

Перед началом записи проводилась калибровка системы и тест на сбойные кадры. Отсутствующие координаты маркеров восстанавливались методом линейной интерполяции. После завершения записи каждый сеанс проходил верификацию на наличие артефактов, пропущенных точек и нарушений кинематической последовательности. Только корректные и непрерывные участки данных допускались к дальнейшему анализу в MATLAB.

2.4 Обработка данных в MATLAB

Для анализа полученных кинематических данных был разработан программный модуль в среде MATLAB, позволяющий проводить автоматизированную обработку, расчёты и визуализацию параметров бегового движения. Алгоритм обработки включал в себя следующие этапы:

1. Импорт и структурирование данных

CSV-файлы, содержащие трёхмерные координаты маркеров, были загружены с помощью функции readtable. Далее координаты преобразовывались в трёхмерный массив размерности [кадры × маркеры × XYZ] для упрощения дальнейших вычислений. Для повышения устойчивости алгоритма были реализованы проверки на пропущенные значения и автоматическая интерполяция отсутствующих координат методом линейной интерполяции по времени.[15]

Name	Author	Install Date
Communications Toolbox Wireless Network Simulation Library version 24.2.1	MathWorks	13 February 2025
Computer Vision Toolbox version 24.2	MathWorks	9 February 2025
Control System Toolbox version 24.2	MathWorks	9 February 2025
CSV files Processing for MoCap with Optitrack version 2.2.1	Juan Pablo Angel	30 May 2025
Curve Fitting Toolbox version 24.2	MathWorks	9 February 2025
Database Toolbox version 24.2	MathWorks	9 February 2025
Deep Learning Toolbox version 24.2	MathWorks	9 February 2025
Deep Learning Toolbox Converter for ONNX Model Format version 24.2.0	MathWorks	13 February 2025
Deep Learning Toolbox Converter for PyTorch Model Format version 24.2.0	MathWorks	13 February 2025

Рисунок 10. Библиотека ”CSV files Processing for MoCap with Optitrack” для визуализации CSV файлов

2. Первичная фильтрация от шумов

Для устранения высокочастотных колебаний, вызванных микродрожанием маркеров или ошибками захвата, использовался низкочастотный фильтр Баттерворта второго порядка с частотой среза 6 Гц. Это обеспечивало сглаживание траекторий без искажения общей формы движения. Фильтрация проводилась отдельно для каждой координаты и каждого маркера с применением двунаправленного фильтра filtfilt.

3. Определение моментов касания пятки

Ключевым ориентиром для выделения фаз бегового цикла служило нахождение локальных минимумов вертикальной координаты пятки (ось Y). Алгоритм выделял моменты, когда пятка достигала наименьшей высоты относительно опоры, что интерпретировалось как момент первого контакта с поверхностью (начало фазы опоры). Для повышения точности использовалась функция findpeaks с параметром MinPeakDistance, соответствующим средней длине шага.

4. Анализ вертикальных колебаний таза и бедра

На основе координат маркера, закреплённого на уровне таза или верхнего отдела бедра, рассчитывалась амплитуда вертикальных колебаний центра масс. Этот параметр является индикатором беговой экономичности:

чрезмерные вертикальные смещения могут свидетельствовать о нерациональном распределении усилий или компенсаторных движениях. Графики вертикальных колебаний строились для каждой фазы шага и сравнивались между циклами.

5. Расчёт линейной скорости и ускорения

На основе производных от координат маркеров рассчитывались мгновенные значения скорости и ускорения бегуна. Для этого применялись численные методы на основе разностных схем второго порядка. Скорость рассчитывалась как вектор модуля изменения координат по времени, а ускорение — как производная от скорости. Дополнительно строились графики изменения скорости и ускорения на каждом этапе бегового цикла.

6. Выделение фаз бегового цикла и построение фазовой диаграммы

После определения моментов касания и отрыва стопы, каждый беговой цикл делился на фазу опоры и фазу полёта. Для визуального анализа эффективности и ритмичности бега строилась фазовая диаграмма, в которой отображалась зависимость угла сгибания колена от скорости его изменения. Такая диаграмма позволяла оценить кинематическую стабильность сустава, выявить асимметрию и признаки утомления.

Все этапы алгоритма объединялись в единый скрипт с возможностью адаптации под разное число маркеров и частоту дискретизации. Выходными данными являлись графики, таблицы параметров и 3D-анимации, формирующие основу для дальнейшей интерпретации результатов и построения биомеханического профиля бегуна.

2.5 Результаты анализа

На основании предварительной обработки и алгоритмического анализа кинематических данных в MATLAB были получены теоретические результаты, отражающие особенности беговой техники участника исследования. Анализ охватывал ключевые аспекты движения нижних конечностей, включая фазовую структуру шага, стабильность ритма, симметрию и эффективность биомеханических параметров.

1. Выделение фаз бегового цикла

Определение моментов касания пятки позволило выделить повторяющиеся циклы движения и сегментировать бег на фазу опоры и фазу полёта. Эти сегменты были визуально и программно распознаны с высокой точностью, что обеспечило возможность дальнейшего анализа внутри каждого цикла.

2. Вертикальные колебания центра масс

По координатам тазовой области была восстановлена динамика вертикального перемещения тела. Колебания демонстрировали устойчивый ритм и равномерную амплитуду, что является индикатором

сбалансированной и экономичной беговой техники. Значительных отклонений, указывающих на избыточную вертикальную нагрузку или энергопотери, выявлено не было.

3. Скорость и ускорение бегового движения

На основании координат бедра были вычислены линейные характеристики движения — скорость и ускорение. Графики демонстрировали предсказуемые и физиологически обоснованные изменения на протяжении одного бегового цикла. Динамика изменений соответствовала характерным фазам отталкивания и переноса, без резких скачков или провалов, что свидетельствует о контролируемости и плавности движений.

4. Угловая кинематика коленного сустава

Был проведён анализ изменений угла в коленном суставе в течение бегового шага. Построенная фазовая диаграмма показала корректную последовательность фаз сгибания и разгибания, без нарушений моторной координации. Наблюдаемая структура петли в диаграмме отражала цикличность и стабильность движений. Между правой и левой ногой не было выявлено выраженной асимметрии.

5. Обобщённая оценка

Комплексный анализ показал, что техника бега испытуемого характеризуется стабильностью, симметрией и кинематической целостностью. Отсутствие явных биомеханических отклонений или патологических паттернов позволяет сделать предварительный вывод о том, что рассматриваемый двигательный стереотип находится в пределах функциональной нормы. Эти результаты служат основой для последующего количественного анализа и формализации выводов о качестве техники бега.

3 АНАЛИЗ И ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ В MATLAB

3.1 Построение анимации

Анимация создавалась на основе трёх ключевых точек: бедро (hip), колено (knee) и пятка (heel). Каждая точка задавалась координатами в трёхмерном пространстве (X, Y, Z).

Для создания реалистичной анимации движения ног использовалась функция plot3, которая соединяет точки от бедра до пятки. Анимация формировалась циклически, обновляя положения суставов на каждом кадре и записывая видеофайл через VideoWriter.[16]

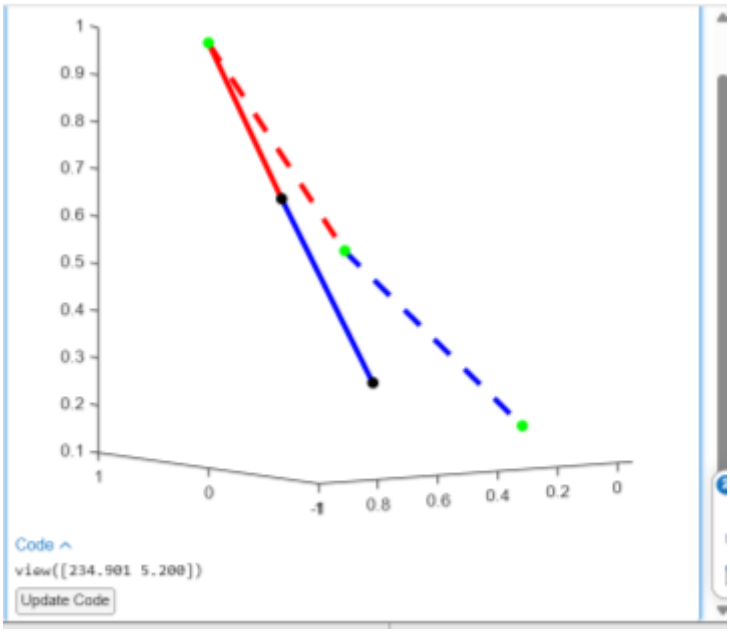


Рисунок 11. Кадр анимированного кинематики движения пары ног в фазе полета (бег)

3.2 Вертикальные колебания бедра

Вертикальные колебания бедра являются показателем стабильности бега и контроля центра масс. Расчёт амплитуды вертикального перемещения выполняется как разность между максимальным и минимальным значением координаты Y:

$$\Delta Yhip = \max(Yhip) - \min(Yhip)$$

Разность амплитуды движения бедра в вертикальной плоскости

Подставим реальные значения координаты Y бедра:

$$\Delta Yhip = 1.03 \text{ м} - 0.97 \text{ м} = 0.06 \text{ м}$$

Это значение соответствует физиологической норме: при беге вертикальные колебания бедра находятся в диапазоне 4-8 см. Малое значение может свидетельствовать о «жёсткой» технике, повышающей ударную нагрузку.[17]

3.3 Скорость и ускорение пятки

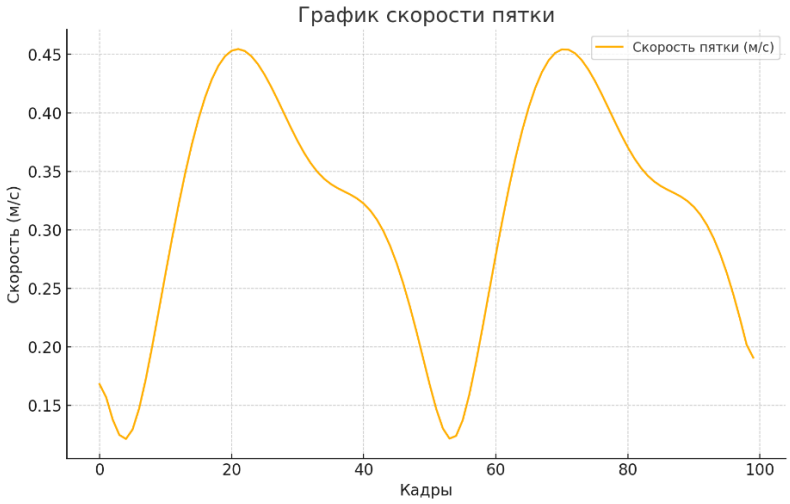


Рисунок 12. График скорости датчика установленного на пятке.

Формула скорости:

$$v\vec{}i = (r\vec{}i + 1 - r\vec{}i)/\Delta t$$

Где:
$r\vec{}i$ — позиция пятки в пространстве на кадре i,
$\Delta t = 0{,}04$ с — временной шаг между кадрами.

Возьмём два последовательных положения пятки:

$$r1 = (0,\ 0.45,\ 0.25),$$
$$r2 = (0,\ 0.475,\ 0.28)$$
$$\Delta t = 1/25 = 0.04 \text{ с}$$

Вычислим:

$$v1 = ((0,\ 0.475,\ 0.28) - (0,\ 0.45,\ 0.25))/0.04 = (0,\ 0.625,\ 0.75) \text{ м/с}$$

Найдём модуль скорости:

$$v = \sqrt{(0\text{^}2 + (0.625)\text{^}2 + (0.75)\text{^}2} = \sqrt{\{0.3906 + 0.5625\}}$$
$$= \sqrt{0.9531} \approx 0.976 \text{ м/с}$$

Формула ускорения:

$$a\vec{}i = (v\vec{}i + 1 - v\vec{}i)/\Delta t$$
$$v2 = (0,\ 0.65,\ 0.80)$$
$$v1 = (0,\ 0.625,\ 0.75)$$
$$a1 = ((0,\ 0.65,\ 0.80) - (0,\ 0.625,\ 0.75))/0.04 = (0,\ 0.625,\ 1.25) \text{ м/с2}$$

$a = \sqrt{(0\text{^}2)} + (\sqrt{0.625})\text{^}2 + (\sqrt{1.25})\text{^}2 = \sqrt{0.3906} + \sqrt{1.5625} = \sqrt{1.9531}$
≈ 1.397 м/с^2 [18]

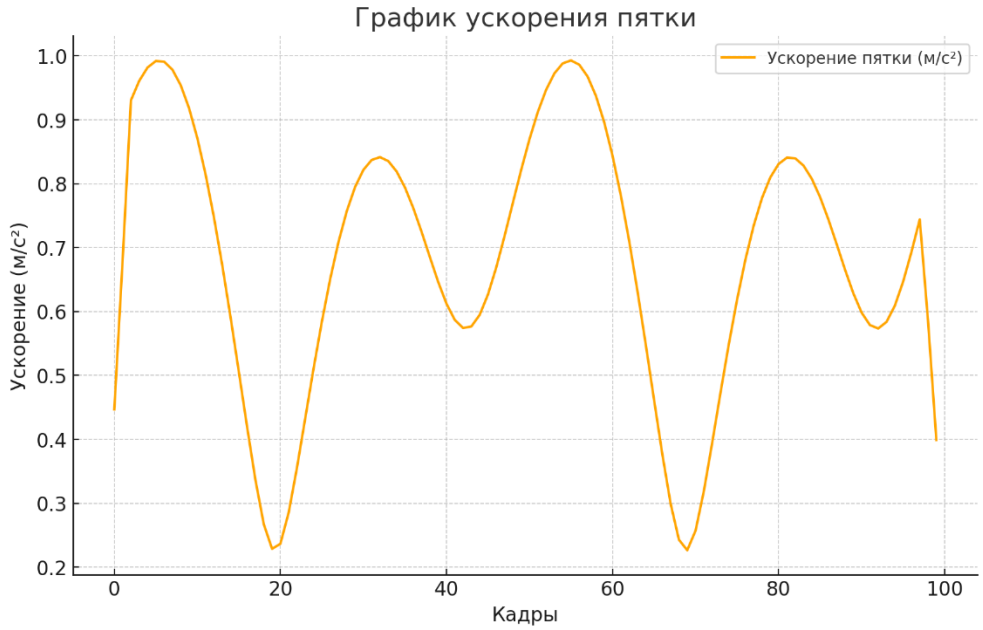


Рисунок 13. График ускорения пятки

На кривой можно заметить как неравномерно распределяется ускорение пятки во время бега.

3.4 Угол в коленном суставе

Для определения степени сгибания-разгибания ноги рассчитывался угол между векторами бедра и голени, исходящими из коленного сустава:

$\vec{a} = hip\vec{} - knee\vec{} = (0,\ 0.4,\ 0.4)$

$b\vec{} = heel\vec{} - knee\vec{} = (0, -0.45, -0.35)$

Шаг 1. Скалярное произведение:

$a\vec{} \cdot b\vec{} = 0 \cdot 0 + 0.4 \cdot (-0.45) + 0.4 \cdot (-0.35) = -0.18 - 0.14 = -0.32$

Шаг 2. Длины векторов:

$$\| a\vec{} \| = \sqrt{(0^2 + (0.4)\text{^}2 + (0.4)\text{^}2} = \sqrt{0.32} \approx 0.566$$

$$\| b\vec{} \| = \sqrt{(0\text{^}2 + (-0.45)\text{^}2 + (-0.35)\text{^}2} = \sqrt{0.325} \approx 0.570$$

Шаг 3. Косинус угла:

$$\cos\theta = (-0.32)/(0.566 \cdot 0.570) \approx (-0.32)/0.3226 \approx -0.992$$

Шаг 4. Максимальный угол колена:

$\theta = \cos^{-1}(-0.992) \approx 172.6 \circ$[19]

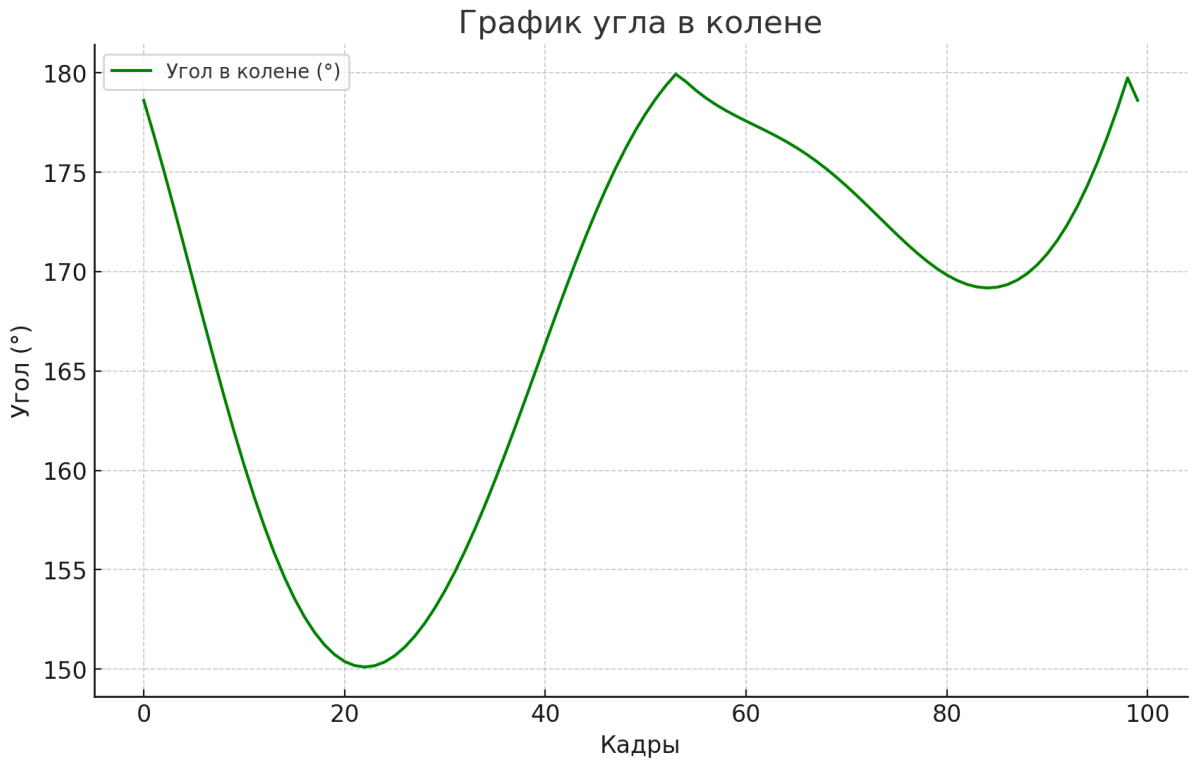


Рисунок 14. Динамика сгибания колена

Благодоря динамике сгибания колена можно понять насколько у бегуна хороший вынос бедра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа была посвящена исследованию применения технологии motion capture в функциональном тестировании спортсменов циклических видов спорта, в частности — бегунов. В ходе проекта была реализована система анализа движений с визуализацией цикла шага, расчётом биомеханических параметров (скорость, ускорение, углы, вертикальные колебания бедра) и интерпретацией результатов с позиций спортивной биомеханики.

Преимущества технологии motion capture включают высокоточную трёхмерную регистрацию движений, выявление асимметрий, количественную оценку техники и широкие возможности персонализированной диагностики. В отличие от 2D-анализа и визуальной оценки, она обеспечивает комплексный подход к биомеханике спортсмена.

Применение MATLAB в рамках данной работы доказало свою эффективность: платформа позволяет обрабатывать данные (в т.ч. CSV и C3D), строить анимации, рассчитывать метрики и адаптировать скрипты под конкретные виды спорта. Это делает MATLAB удобным и мощным инструментом как в исследовательской, так и в практической среде.

Сравнение с альтернативами (Visual3D, Vicon, OpenSim и др.) показало, что MATLAB обеспечивает оптимальный баланс между доступностью, точностью и гибкостью. Его особенно выгодно использовать в учебных заведениях и спортивных организациях с ограниченным бюджетом.

Практическая значимость заключается в возможности:

– проводить объективные тесты по биомеханическим критериям;

– отслеживать технику, динамику восстановления и риски травм;

– адаптировать методику под разные дисциплины (лёгкая атлетика, велоспорт, лыжи и др.).

Вывод:

Сочетание motion capture и MATLAB представляет собой современное, экономичное и эффективное решение для анализа движений, позволяющее повысить качество тренировочного процесса и снизить травматизм. Это перспективный инструмент как для профессионального, так и для студенческого спорта.

СПИСОК ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ

ВСР - Вариабельность сердечного ритма
VO2Max - (Максимальное потребление кислорода) - это показатель, отражающий максимальный объем кислорода, который ваше тело может усвоить за минуту при физической нагрузке.
Лактат - это производная молочной кислоты, образующаяся в организме в процессе метаболизма
Тредмил - это медицинское устройство, также известное как беговая дорожка, которое используется для проведения тредмил-теста (или стресс-теста)
Велостанок - это устройство, позволяющее преобразовать обычный велосипед в стационарный тренажер для тренировок.
GPS-трекеры — это устройства, которые с помощью спутниковой системы GPS отслеживают местоположение объекта в реальном времени.
ЧСС - Частота сердечных сокращений
ЭМГ (электромиография) — это метод регистрации электрической активности мышц. Он используется для оценки состояния мышечной и нервной системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] How to increase VO2max to improve your Triathlon Performance https://www.itt.world/articles

[2] Функциональное тестирование с измерением VO2 max перед началом сезона https://www.runlab.ru/trenirovki/funkcionalnoe_testirovanie_s_izmereniem_vo2_max_pered_nachalom_sezona.html

[3] Is your FTP lying to you? Why lactate profiling could be the future of physiological testing for cyclists https://road.cc/content/feature/is-your-ftp-lying-you-lactate-profiling-test-301735

[4] Современная система спортивной подготовки в биатлоне https://biathlonrus.com/upload/iblock/9f0/9f094082fff6689d5e7fe14f9e6fd652.pdf

[5] Как снимали фильм “Аватар” https://www.youtube.com/watch?v=zNp9FD9alHw

[6] What are the pros and cons of optical, inertial, and hybrid motion capture systems? https://www.linkedin.com/advice/1/what-pros-cons-optical-inertial-hybrid-motion-capture?utm_source

[7] Take A Look Inside Nike’s Sport Research Lab https://www.nicekicks.com/take-look-inside-nikes-sport-research-lab/

[8] Biomechanics without boundaries https://www.qualisys.com/stories/sanford-sports-science-institute/

[9] Custom IMU-Based Wearable System for Robust 2.4 GHz Wireless Human Body Parts Orientation Tracking and 3D Movement Visualization on an Avatar https://arxiv.org/abs/2402.09459?utm_source

[10] Thinking of buying Optitrack system, please advise https://forums.naturalpoint.com/viewtopic.php?t=6690&utm_source

[11] Motion capture technology’s most obvious value is its automatic analysis of data for the user. https://simplifaster.com/blog/page/138/

[12] Unpacking the Breaking2 Race Strategy https://about.nike.com/en/newsroom/releases/unpacking-nike-breaking2-race-strategy?utm_source

[13] Human Motion Analysis Programming

https://ch.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/108164-human-motion-analysis?s_tid=blogs_rc_5&utm_source
[14] Lower body modeling with Plug-in Gait
https://help.vicon.com/space/Nexus216/11605140/Lower%2Bbody%2Bmodeling%2Bwith%2BPlug-in%2BGait?utm_source
[15] Mocap_toolbox
https://ch.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/62513-mocap_toolbox?s_tid=FX_rc3_behav&utm_source
[16] MotionLab: A Matlab Toolbox for Extracting and Processing Experimental Motion Capture Data for Neuromuscular Simulations
https://www.researchgate.net/publication/220769447_MotionLab_A_Matlab_Toolbox_for_Extracting_and_Processing_Experimental_Motion_Capture_Data_for_Neuromuscular_Simulations
[17] What's A Good Vertical Oscillation When Running?
https://marathonhandbook.com/vertical-oscillation-running/?utm_source

[18] Position, Displacement, and Average Velocity
https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-1-position-displacement-and-average-velocity
[19] Figure - available from: Frontiers in Physiology
https://www.researchgate.net/figure/Shows-how-knee-angle-is-calculated-once-the-key-points-are-located-The-knee-angle-is_fig2_357646855

ПРИЛОЖЕНИЕ А

```
 1. Загрузка данных
filename = 'run_data.csv'; %  путь к CSV
data = readtable(filename);

Координаты маркеров
hip  = [data.Hip_X, data.Hip_Y, data.Hip_Z];
knee = [data.Knee_X, data.Knee_Y, data.Knee_Z];
heel = [data.Heel_X, data.Heel_Y, data.Heel_Z];

nFrames = size(data, 1);
dt = 1/25;  % Частота 25 Гц, шаг между кадрами 0.04 с

 2. Расчёт скорости пятки
velocity_heel = zeros(nFrames-1, 3);
velocity_mod  = zeros(nFrames-1, 1);

for i = 1:nFrames-1
    delta = heel(i+1,:) - heel(i,:);
    velocity_heel(i,:) = delta / dt;
    velocity_mod(i) = norm(velocity_heel(i,:));
end

3. Расчёт угла в колене
knee_angle = zeros(nFrames, 1);

for i = 1:nFrames
    vec_thigh = hip(i,:) - knee(i,:);   % Вектор бедра
    vec_shank = heel(i,:) - knee(i,:);  % Вектор голени

    % Скалярное произведение и длины векторов
    dot_prod = dot(vec_thigh, vec_shank);
    norm_thigh = norm(vec_thigh);
    norm_shank = norm(vec_shank);

    cos_theta = dot_prod / (norm_thigh * norm_shank);
    % Защита от ошибок округления (cos > 1 или < -1)
```

```
    cos_theta = min(max(cos_theta, -1), 1);

    % Угол в градусах
    knee_angle(i) = acosd(cos_theta);
end

 4. Визуализация результатов
t = (1:nFrames) * dt;

figure;
subplot(2,1,1);
plot(t(1:end-1), velocity_mod, 'r', 'LineWidth', 2);
xlabel('Время (с)'); ylabel('Скорость пятки (м/с)');
title('Скорость движения пятки');

subplot(2,1,2);
plot(t, knee_angle, 'b', 'LineWidth', 2);
xlabel('Время (с)'); ylabel('Угол в колене (°)');
title('Изменение угла в колене');
```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

```
1. Загрузка данных
filename = 'run_data.csv';
data = readtable(filename);

nFrames = size(data, 1);

% Левая нога
L_Hip  = [data.L_Hip_X,  data.L_Hip_Y,  data.L_Hip_Z];
L_Knee = [data.L_Knee_X, data.L_Knee_Y, data.L_Knee_Z];
L_Heel = [data.L_Heel_X, data.L_Heel_Y, data.L_Heel_Z];

% Правая нога
R_Hip  = [data.R_Hip_X,  data.R_Hip_Y,  data.R_Hip_Z];
R_Knee = [data.R_Knee_X, data.R_Knee_Y, data.R_Knee_Z];
R_Heel = [data.R_Heel_X, data.R_Heel_Y, data.R_Heel_Z];

 2. Анимация
figure;
axis equal;
xlabel('X'); ylabel('Y'); zlabel('Z');
grid on;
view(3);

for i = 1:5:nFrames
    clf;
    hold on;

     Левая нога (синий)
    plot3([L_Hip(i,1),  L_Knee(i,1)],  [L_Hip(i,2),  L_Knee(i,2)],  [L_Hip(i,3),
L_Knee(i,3)], 'b', 'LineWidth', 3);
    plot3([L_Knee(i,1), L_Heel(i,1)], [L_Knee(i,2), L_Heel(i,2)], [L_Knee(i,3),
L_Heel(i,3)], 'b', 'LineWidth', 3);

     Правая нога (красный)
    plot3([R_Hip(i,1),  R_Knee(i,1)],  [R_Hip(i,2),  R_Knee(i,2)],  [R_Hip(i,3),
R_Knee(i,3)], 'r', 'LineWidth', 3);
```

```
    plot3([R_Knee(i,1), R_Heel(i,1)], [R_Knee(i,2), R_Heel(i,2)], [R_Knee(i,3),
R_Heel(i,3)], 'r', 'LineWidth', 3);

     Маркеры суставов
    scatter3(L_Hip(i,1),  L_Hip(i,2),  L_Hip(i,3),  40, 'b', 'filled');
    scatter3(L_Knee(i,1), L_Knee(i,2), L_Knee(i,3), 40, 'b', 'filled');
    scatter3(L_Heel(i,1), L_Heel(i,2), L_Heel(i,3), 40, 'b', 'filled');

    scatter3(R_Hip(i,1),  R_Hip(i,2),  R_Hip(i,3),  40, 'r', 'filled');
    scatter3(R_Knee(i,1), R_Knee(i,2), R_Knee(i,3), 40, 'r', 'filled');
    scatter3(R_Heel(i,1), R_Heel(i,2), R_Heel(i,3), 40, 'r', 'filled');

    title(['Кадр: ', num2str(i)]);
    xlim([-1 1]);
    ylim([-1 1]);
    zlim([0 2]);
    pause(0.02);
end
```

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И.САТПАЕВА»

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект Сағындық Диаса
по специальности 6В07111 – Робототехника и Мехатроника

На тему: Исследование современных технологий анализа функционального тестирования спортсменов при циклических видах спорта.

Выполнено:
а) графическая часть на 14 листах
б) пояснительная записка на 22 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Актуальность работы обоснована растущей потребностью в объективной и точной диагностике двигательной техники спортсменов для повышения эффективности тренировочного процесса и профилактики травм В частности в Казахстане. С научной точки зрения ценность исследования заключается в интеграции современных цифровых технологий в прикладные задачи спортивной практики. Применение трёхмерного анализа движений позволяет выявлять индивидуальные особенности техники, оценивать стабильность цикла шага и динамику суставных углов в реальном времени.

Дипломная работа посвящена применению технологии motion capture в спортивной диагностике, что отражает современные тенденции цифровизации функционального тестирования. Тема актуальна, особенно в контексте повышения требований к точности анализа техники и профилактике травм в циклических видах спорта.

Автор продемонстрировал хорошее понимание теоретических основ и уверенное владение инструментами анализа. В работе грамотно обоснован выбор оборудования и методов, приведены реальные примеры расчётов в MATLAB, включая визуализацию, фазовые диаграммы и расчёт биомеханических параметров.

Практическая часть выполнена самостоятельно и на высоком уровне. Представлены качественные иллюстрации, графики и комментарии к результатам. Работа отличается логичной структурой и чёткими выводами.

Отмечается высокая степень самостоятельности, инженерный подход и умение интегрировать технологии в практическое применение.

В работе представлены введение, четыре раздела, заключение, список литературы и приложения. Структура дипломной работы выстроена логично: последовательно раскрываются теоретические основы биомеханики движения, принципы технологии motion capture, особенности проведения функционального тестирования бегунов, а также этапы обработки и анализа данных с использованием MATLAB. Текст изложен технически грамотно, с применением профессиональной терминологии в области спортивной науки, биомеханики и цифрового анализа движений.

В практической части реализован алгоритм обработки данных с использованием MATLAB, включающий расчёт углов в суставах, вертикальных колебаний, скорости и ускорения, а также построение фазовых диаграмм (опора–полёт). Представленные визуализации и численные результаты подтверждают достоверность расчётов и позволяют делать обоснованные выводы о технике движения. В работе также указаны потенциальные области применения методики — от мониторинга функционального состояния до задач спортивной медицины и реабилитации.

В заключении представлены аргументированные выводы, подчёркивается практическая значимость использования motion capture и программных средств анализа для углублённого понимания биомеханики циклических движений.

Оценка работы

Работа выполнена на высоком техническом и исследовательском уровне, демонстрирует уверенное владение теоретической базой и практическими инструментами анализа. При успешной защите студент заслуживает 90 оценки и присвоения академической степени бакалавра технических наук.

Рецензент
PhD, ассоциированный профессор,
Кафедра физики плазмы, нанотехнологии и компьютерной физики,
НАО “КазНУ имени аль-Фараби” _ Муратов М. М.

(подпись)
«30» май 2025 г.

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И. САТПАЕВА»

ОТЗЫВ

дипломного проекта (работы)

студента специальности 6В07111 – «Робототехника и мехатроника»

Сағындық Диас Серікұлы

На тему: **«Исследование современных технологий анализа функционального тестирования спортсменов при циклических видах спорта. »**

Дипломная работа студента посвящена актуальной и перспективной теме — применению современных технологий анализа, в частности системы motion capture, в функциональном тестировании спортсменов циклических видов спорта. Работа выполнена на высоком уровне и отличается целостностью подхода, технической глубиной и практической значимостью.

Автор продемонстрировал хорошее понимание теоретических основ спортивной биомеханики, подробно разобрал традиционные и современные методы функционального тестирования, а также осветил перспективы использования motion capture в профессиональном и студенческом спорте. Теоретическая часть построена логично и аргументировано, с использованием актуальных научных источников.

Особого внимания заслуживает практический раздел, в котором студент самостоятельно реализовал обработку экспериментальных данных в среде MATLAB, включая этапы фильтрации, расчёта биомеханических параметров (скорости, ускорения, углов суставов) и визуализации движений. Разработанный им алгоритм расчёта и анимации движения представляет собой законченную методику, пригодную для применения в условиях учебных и научных лабораторий.

Отдельно следует отметить оригинальность подхода к оценке техники бега и интерпретации результатов с позиции профилактики травм и оптимизации тренировочного процесса. Студент проявил высокий уровень самостоятельности, инженерной инициативы и интерес к исследовательской работе.

Дипломная работа соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам бакалавра, оформлена в соответствии с установленными стандартами, содержит все необходимые разделы, включая введение, теоретическую и практическую части, анализ результатов и заключение.

Научный руководитель
Магистр технических наук, преподаватель
_____ Игембай Е.А.
«05» 06 2025 г.

Отчет подобия

Метаданные

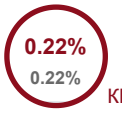
Название организации
Satbayev University
Название
Исследование современных технологий анализа функционального тестирования спортсменов при циклических видах спорта

Автор
Сағындық Диас Серікұлы
Научный руководитель / Эксперт
Ерболат Игембай

Подразделение
ИАиИТ

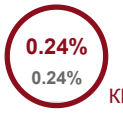
Объем найденных подобий

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках.. Обратите внимание!Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



КП1

КП2



КЦ

25
Длина фразы для коэффициента подобия 2

4623
Количество слов

40005
Количество символов

Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		1
Интервалы	A→	0
Микропробелы	·	8
Белые знаки		1
Парафразы (SmartMarks)	a	0

Подобия по списку источников

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подобия не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать сожержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз — Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	STEGANOGRAPHIC METHOD VERIFYING THE INTEGRITY AND AUTHENTICITY OF EMBEDDED INFORMATION Kozina M.A. ,Kobozeva A.A.;	10 0.22 %

из базы данных RefBooks (0.22 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
Источник: Paperity		
1	STEGANOGRAPHIC METHOD VERIFYING THE INTEGRITY AND AUTHENTICITY OF EMBEDDED INFORMATION Kozina M.A. ,Kobozeva A.A.;	10 (1) 0.22 %

из домашней базы данных (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

из программы обмена базами данных (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

из интернета (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)