

Министерство спорта и туризма Республики Беларусь
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ФИЗИЧЕСКОЙ
КУЛЬТУРЫ»
(БГУФК)

УДК 796.012:615.825.6

Рег. №

Рег. №

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
Т.А. Морозевич-Шилюк
«12» 2023г.



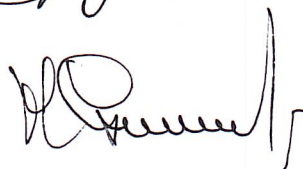
ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
Технологическое сопровождение физической культуры и спорта на основе
тренажёрных технологий и биомеханического моделирования
по теме:
БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СУСТАВНЫХ ДВИЖЕНИЙ И
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ТРЕНАЖЁРОВ СЕРИИ
«БИЗОН» ДЛЯ РАЗВИТИЯ И УКРЕПЛЕНИЯ МЫШЦ СПИНЫ И
ПОЯСНИЧНОЙ ОБЛАСТИ У СПОРТСМЕНОВ – МЕТАТЕЛЕЙ
ЛЕГКОАТЛЕТИЧЕСКИХ СНАРЯДОВ
(промежуточный, этап 3)
2.2.4

И.о. заведующего
кафедрой биомеханики

Руководитель НИР,
доктор пед. наук, профессор



О.Н.Козловская

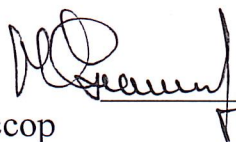


Н.Б. Сотский

Минск 2023

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,
доктор, пед. наук, профессор

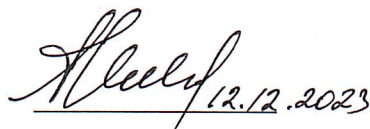


12.12.2023

Н.Б.Сотский
(реферат, введение,
раздел 1, заключение)

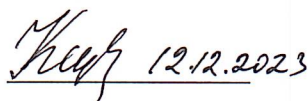
Исполнители:

Доцент, канд. ф-м. наук




О.А.Новицкий
(раздел 1)

Доцент, канд. пед. наук



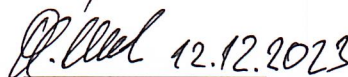
Н.И.Курьянова
(раздел 1)

Доцент, канд. пед. наук



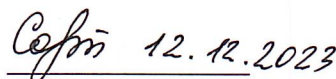
С.Л.Рукавицына
(раздел 2)

Старший преподаватель



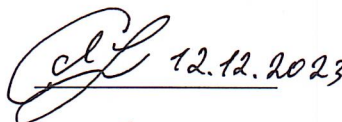
М.В.Шиндер
(раздел 2)

Старший преподаватель



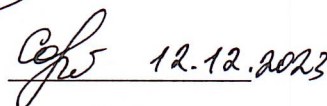
Л.Л.Солтанович
(раздел 2)

Старший преподаватель



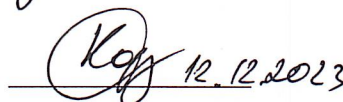
М.А.Корсак
(раздел 1)

Старший преподаватель



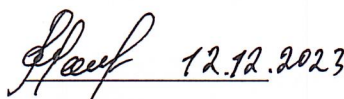
Ж.В.Сотская
(раздел 2)

Старший преподаватель



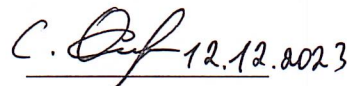
О.Н.Козловская
(раздел 1)

Преподаватель



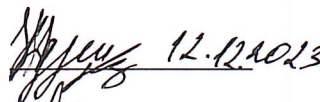
Н.С.Самойленко
(раздел 2)

Преподаватель



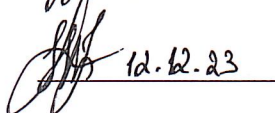
О.А.Санько
(раздел 2)

Студент



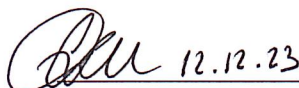
А.П.Курбацкий
(раздел 2)

Студент



Н.М.Бородинец
(раздел 2)

Нормоконтроль



К.С.Дарануца

РЕФЕРАТ

Отчёт 32 с., 1 кн., 23 рис., 1 табл., 9 источн.

ФРИКЦИОННЫЙ ТРЕНАЖЁР, ТРЕНИРОВОЧНЫЕ УПРАЖНЕНИЯ, МЕТАНИЕ КОПЬЯ, ДИНАМИКА ПОЗЫ, ЭЛЕМЕНТЫ ОСАНКИ, УПРАВЛЯЮЩИЕ ДВИЖЕНИЯ, КОРРЕКЦИЯ ОСАНКИ

Объекты исследования: метание копья, динамика позы метателя, методика использования фрикционных тренажеров серии «Бизон» для силовой тренировки метателей, методика экспресс-диагностики проблем опорно-двигательного аппарата человека.

Цели исследований – разработка методики применения тренажеров серии «Бизон-Т» для развития и укрепления мышц рук, плечевого пояса и туловища у метателей копья. Построение методики экспресс-диагностики проблем осанки человека.

Методы исследования: видеосъёмка, фотосъёмка, тестирование, методы компьютерного и физического моделирования.

Определены основные биомеханико-педагогические составляющие метания копья – элементы осанки и управляющие движения в суставах. Построена методика тренировки мышечных групп метателей, на основе инновационного фрикционного тренажёра со многими степенями свободы «Бизон-Т».

Предложена экспресс-методика диагностики отклонений для исследования осанки человека с установлением отклонений от нормы.

Итоги внедрения результатов НИР: полученный эффект от внедрения позволил повысить эффективность, связанную с координационной работой мышц, характерной для рассматриваемого физического упражнения, а также обеспечить возможность экспресс-диагностики состояния опорно-двигательного аппарата человека.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Обоснование методики применения использования инновационных тренажеров серии «Бизон» с использованием биомеханического моделирования.....	7
2 Экспресс-анализ осанки человека с использованием аналитической матричной формы записи позы.....	20
Заключение.....	28
Список использованных источников.....	30

ВВЕДЕНИЕ

Современные подходы к проблемам организации эффективной физической подготовки в значительной степени основаны на использовании объективных закономерностей биомеханики, которая, если рассматривать ее значение в спорте, все в большей степени становится педагогической дисциплиной [1].

Наиболее отчетливый прогресс в этом отношении представляет реализация подхода, в котором двигательное действие представляется состоящим из одновременного ограничения подвижности в одних суставах (элементов осанки или элементов динамической осанки) и целенаправленных изменений углов в других (управляющих движений).

Для установления указанных биомеханико-педагогических составляющих двигательного действия используется анализ позы, основанный на оригинальных способах ее определения и аналитической записи [2]. В частности, в настоящее время популярность завоевывает матричная форма аналитической регистрации позы спортсмена, выполняющего физическое упражнение.

С другой стороны, организация специальной силовой тренировки, как и любых физических упражнений, требует определенной регламентации изменений позы на фоне специально организованного сопротивления осуществлению элементов динамической осанки и управляющих движений в суставах. Основным требованием здесь представляется соблюдение принципа «динамического соответствия», одним из важнейших требований которого является соблюдение кинематической эквивалентности при выполнении управляющих движений в соревновательном и тренировочном упражнениях [3].

Определение кинематической эквивалентности в указанном смысле может быть осуществлено именно на основе методики определения и аналитической записи позы спортсмена и ее изменения во время выполнения

двигательного задания. Если говорить о задаче такого исследования, то она заключается в максимально точном выяснении закономерностей выполнения основных управляющих движений и организации аналогичных действий во время специальной силовой тренировки. Особенно важным этот аспект представляется при использовании тренажеров и технических средств. Поэтому исследования, связанные с возможностью применимости тренажерных технологий, обоснованной на исследовании динамики изменения позы при выполнении соревновательных движений, представляют собой актуальное направление в спортивной науке.

В настоящем исследовании представлен подход к тренажерной тренировке, связанной с развитием специфических силовых качеств, легкоатлетов-метателей на примере метания копья. При этом в качестве тренажерной технологии, адаптируемой для данной дисциплины используются инновационные фрикционные тренажеры со многими степенями свободы.

Другое направление исследования кафедры, включенное в настоящий отчет, несмотря на косвенное отношение непосредственно к тренажерным технологиям, тем не менее, имеет важное значение в расширении использования научного направления, связанного с установлением применимости тренажеров и технических устройств в ходе коррекции асимметрий опорно-двигательного аппарата человека.

Здесь проиллюстрировано практическое использование вышеупомянутого метода определения, аналитической записи и последующего анализа позы человека с выявлением ее отклонений от эталонного положения.

Важность этого направления научно-исследовательской работы кафедры в активном участии студентов, являющихся активными сотрудниками студенческой научно-исследовательской лаборатории.

1 Обоснование методики применения инновационных тренажеров серии «Бизон» с использованием биомеханического моделирования

Структура данного исследования включала проведение скоростной видеосъемки техники метания копья ведущими спортсменами Республики Беларусь А. Котковцом, и Т. Холодович, анализ динамики позы на основе аналитической матричной формы ее записи и подбор упражнений, обеспечивающих тренировочной нагрузкой основные суставные движения исполнителей.

1. Специализированная скоростная съемка соревновательного упражнения метателей копья. Съемка проводилась в ходе Открытого Кубка Республики Беларусь по длинным метаниям на базе РЦОП по легкой атлетике, проводившемся в период с 25 по 26 февраля 2023г.

В ходе съемки использовалась аппаратура «Sony» с установкой оптической оси перпендикулярно направлению движения атлета. Частота съемки составляла 250 кадров в секунду. Были получены видеogramмы финальной части метания копья ведущих спортсменов Республики Беларусь А. Котковца, и Т. Холодович. Всего было получено 10 фрагментов для использования в ходе видеоанализа.

Указанные фрагменты были предварительно просмотрены с целью отбора подходящих для дальнейшего биомеханического анализа, включающего исследование закономерностей изменения позы спортсмена в ходе осуществления финальной фазы двигательного действия. В результате были определены 2 видеофрагмента для проведения дальнейшего исследования.

2. Биомеханическая модель. Для проведения исследования динамики позы при выполнении финального разгона метания копья была построена биомеханическая модель тела исполнителя. Модель представляла собой имитацию тела спортсмена, состоящую из 16 соединенных шарнирно звеньев, представляющих собой звенья тела исполнителя (рисунок 1).

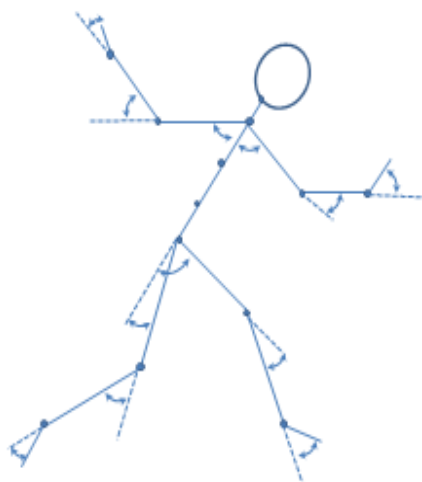


Рисунок 1 – Модель тела исполнителя

Существенным объектом информации для дальнейших исследований техники метания копья была динамика суставных движений исполнителя, для фиксации которых использовалась модифицированная матричная форма записи пространственной позы человека [2]. Иллюстрация такой формы записи представлена на рисунке 2.

В представленной матричной форме записи позы каждая строка соответствует биокинематической цепи. Так, верхняя строка относится к правой ноге, следующая (сверху – вниз) – к левой ноге, затем идут руки (правая и левая) и позвоночный столб. Столбцы соответствуют суставам, показанным на рисунке. Для ног (слева направо) идут тазобедренные суставы, затем коленные, голеностопные и суставы пальцев. Для рук – соответственно, плечевые, локтевые, лучезапястные и суставы пальцев. Для позвоночника условно выделены и рассматриваются как суставы область поясничных позвонков, зона сочленения поясничного отдела с грудным, грудного с шейным и атланто-затылочный.

$$\varphi_{ijk} = \begin{pmatrix} \begin{matrix} 45, 45, 0 & 180, 45, 0 & 0, 0, 0 & 0, 0, 0 \\ 90, 45, 0 & 0, 0, 0 & -90, 45, 0 & 0, 0, 0 \\ 45, 90, 45 & 0, 0, 0 & 180, 45, 0 & 0, 0, 0 \\ 0, 0, 0 & 0, 0, 0 & -90, 45, 0 & 0, 0, 0 \\ -90, 20, 0 & 0, 0, 0 & 0, 0, 0 & 0, 0, 0 \end{matrix} \end{pmatrix}$$

Рисунок 2 – Матрица цифровой записи пространственной позы

В каждой ячейке матрицы расположены три числа, задающие углы, соответствующие каждому типу суставного движения (слева – направо) – циркумдукции, сгибательно-разгибательному (сгибание-разгибание, отведение-приведение и промежуточные) и ротации. Суставные углы измеряются по отношению к нулевым значениям, принятым для позы основной стойки в гимнастике. Длины звеньев тела и их расположение в пространстве, суставные углы (показаны на рисунке 1) определяются на основе обработки изображения по результатам видеосъемки. Для определения масштаба видеоизображения используется предмет известного размера, расположенный в кадре (копье).

3. Динамика изменения позы при выполнении заключительной фазы метания копья определялась по изменению основных суставных углов спортсмена при переходе от начального положения фазы к конечному. Такой анализ был проведен путем сравнения соответствующих матриц. Начальное и конечное положение исполнителя для рассматриваемой фазы движения и соответствующие матрицы позы представлены на рисунке 3.

В результате анализа были установлены наиболее существенные суставные движения, характерные для завершающей фазы метания копья. Для обоих исполнителей следует отметить:

– движения в тазобедренных суставах – правая нога, угол циркумдукции у Котковца (далее К) изменение от -110 градусов до 0, у Холодович (далее Х) – от -90 градусов до 0. Сгибательно-разгибательное движение – у К небольшое увеличение от 30 до 45 градусов, у Х также увеличение от 20 до 30 градусов. В ходе выполнения действия у К происходит ротация на 45 градусов, в то время как у Х ротация отсутствует.

Для левой ноги у обоих исполнителей характерно циркумдукционное движение на 30 градусов при одновременном действии сгибательно-разгибательного типа. У К последнее движение составляет 15 градусов, а у Х всего 5. Кроме этого имеет место ротация в левом тазобедренном суставе у обоих исполнителей, причем у обоих она составляет 45 градусов.

Коленные суставы правой ноги у К изменяются на угол около 15 градусов, а у Х практически зафиксированы. Для левой ноги у К угол коленного сустава зафиксирован, при этом у Х происходит сгибание около 15 градусов.

У голеностопных суставов также имеется некоторая динамика. Так, у К происходит сгибание в указанном суставе правой ноги на угол около 15 градусов, а у Х – на 10 градусов. Для левой ноги характерно изменение угла у К на 40 градусов, а у Х – на 45.

В плечевом суставе правой руки у К происходит отведение на 15 градусов при сохранении углов циркумдукции и ротации. У Х также незначительное аналогичное отведение на 5 градусов, однако при более заметной ротации (15 градусов).

В локтевом суставе у К имеет местосгибание на 20 градусов, у Х – наоборот происходит некоторое (на 15 градусов) разгибание в локтевом суставе. Одновременно у К происходит ротационное движение в локтевом суставе правой руки на 20 градусов, а у Х, такое движение не фиксируется.

Лучезапястные суставы у обоих исполнителей работают одинаково. Так, в обоих случаях происходит выпрямление суставов с углом поворота 45 градусов.



-110, 30, 0	180, 30, 0	0, 90, 0	X, X, X
30, 30, 0	0, 0, 0	0, 70, 0	X, X, X
-90, 90, -90	0, 20, -20	-90, 45, 0	X, X, X
90, 80, 0	0, 40, 0	X, X, X	X, X, X
0, 0, -20	-90, 30, 0	0, 0, 0	0, 0, 0



0, 40, 45	180, 45, 0	0, 40, 0	X, X, X
0, 45, 0	0, 0, 0	0, 40, 0	X, X, X
-90, 105, -90	0, 40, 0	0, 0, 0	X, X, X
0, 0, 0	0, 90, 0	X, X, X	X, X, X
0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0



-90, 20, 0	180, 45, 0	0, 60, 0	X, X, X
30, 45, 0	0, 0, 0	0, 30, 0	X, X, X
-90, 90, -90	0, 85, -20	-90, 45, 0	X, X, X
90, 80, 0	0, 35, 0	X, X, X	X, X, X
0, 0, -20	-90, 20, 0	0, 0, 0	0, 0, 0



0, 30, 0	180, 50, 0	0, 80, 0	X, X, X
0, 40, 0	180, 15, 0	0, 75, 0	X, X, X
-90, 95, -105	0, 70, -20	0, 0, 0	X, X, X
0, 0, 0	0, 90, 0	X, X, X	X, X, X
0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0

Рисунок 3 – Начальное и конечное положение финальной стадии метания копья и соответствующие матрицы, описывающие позу
Суставы левой руки в соответствии с мнением тренеров, специализирующихся в метании копья, влияют на скорость вылета снаряда менее существенно и в данном исследовании не фигурируют.

В суставах позвоночника наблюдаются движения в поясничном и грудном отделах. Так, для начала заключительной фазы метания у обоих исполнителей имеет место ротация в поясничном отделе (около 20 градусов вправо) и движение сгибательно-разгибательного типа в направлении снаряда у К на 30 градусов, а у Х – на 20. По завершении броска указанные углы уменьшаются до нулевого значения соответствующего выпрямленному позвоночнику.

С позиций биомеханики наиболее существенными управляющими движениями, образующими скорость снаряда, представляются циркумдукционное и ротационное движения в тазобедренном суставе левой ноги, ротационное движение в плечевом суставе правой (метающей) руки, ротационное движение в поясничном отделе позвоночника и сгибательно-разгибательное движение в грудном отделе позвоночника, приводящее последний к выпрямленному состоянию.

4. Методические рекомендации. Построение методики использования фрикционного тренажера «Бизон-Т» для специальной силовой тренировки метателей копья. В соответствии с принципом динамического соответствия [3], одним из важнейших условий определяющих степень специализированности силового упражнения, является соответствие его кинематических характеристик соревновательному действию. Поэтому основной задачей подбора технического устройства для использования в ходе специальной силовой подготовки представляется достижение соответствия условий выполнения упражнений соревновательным.

Кроме этого, специфика метания копья предполагает синхронизацию ряда управляющих движений в суставах, что позволяет минимально

нарушать координацию мышечных напряжений спортсмена, выполняющего рассматриваемое двигательное действие. Иными словами, перспективу имеют устройства, позволяющие обеспечить регулируемой нагрузкой одновременно несколько суставных движений тренирующегося с требованием соблюдения координации мышечных усилий.

Традиционно для выполнения специальных силовых упражнений в метаниях используются свободные веса. Они подобны отягощению спортивного снаряда, однако использование соревновательного упражнения в качестве специального силового имеет свои ограничения в связи с образованием так называемого «скоростного барьера». Кроме этого при увеличении массы снаряда происходит увеличение инерционных сил, а также постоянно действующей силы тяжести, противодействие которым нарушает координацию мышечных усилий, характерную для соревновательного упражнения. Другой проблемой является необходимость рассеивания энергии. Здесь следует учитывать, что указанное рассеивание происходит через опорно-двигательный аппарат исполнителя и может привести к травмированию, особенно при выполнении движений, требующих проявления максимальной скорости.

Проблематично применение упругих амортизаторов. Дело в том, что максимум усилия сопротивления при их использовании имеет место в конце движения (в соответствии с законом Гука сила пропорциональна деформации упругого элемента), в то время как максимум усилия в метании наблюдается в самом начале движения.

Использование стационарных устройств также имеет существенные проблемы. В частности, практически все тренажеры «станочного» типа выделяют для обеспечения тренировочной нагрузкой одну степень свободы опорно-двигательного аппарата. Иными словами, мы должны в каждом случае вычленив одно из управляющих движений, изменить его в нужном направлении с помощью тренажера, а затем вставить измененную деталь в

систему движения и опять начинать осваивать двигательное действие. На наш взгляд, это направление не рационально.

Выход в данной ситуации может заключаться в использовании новой технологии. Речь идет о фрикционных тренажерах со многими степенями свободы [4]. Наибольший интерес здесь представляет устройство «Бизон-Т», разработанное и производимое в Республике Беларусь [5]. Внешний вид устройства показан на рисунке 4.



Рисунок 4 – Фрикционный тренажер «Бизон-Т»

Тренажер состоит из опорной платформы (1), опорного стержня (2) с рамой с рукоятками (3) для захвата руками и опорой (4) для спины, силового узла (5), регулировочного винта (6) и регулировочного троса (7).

При выполнении силовых упражнений тренирующийся может находиться как внутри конструкции, так и снаружи (рисунок 5).

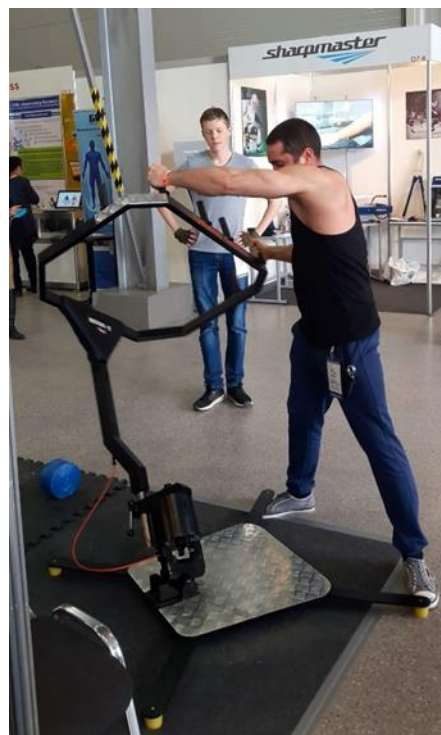


Рисунок 5 – Типовые положения тренирующегося при выполнении упражнений

Для использования указанного устройства в качестве средства специальной силовой подготовки метателей копья с учетом выясненных выше основных суставных движений можно рекомендовать следующие тренировочные упражнения.

Разминка

1. Стандартные общеразвивающие упражнения с акцентом на движения плечевого пояса, поясницы, тазобедренных суставов.

2. Упражнения с «Бизоном»:

2.1. Исходное положение (И.П.) – тренирующийся (Т) находится внутри тренажера, рукоятки устройства расположены на уровне груди. Т захватывает руками крайние боковые рукоятки. Ноги расположены на полу по бокам от платформы тренажера. Нагрузка среднего уровня (рисунок 6).

Двигательное действие (Д.Д.): выполнить повороты рамы тренажера вправо-влево с постепенным увеличением амплитуды 10-12 раз с темпом 1 цикл в 2 секунды.

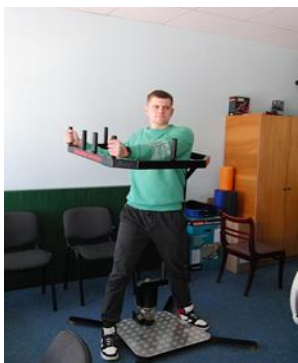


Рисунок 6 – Разминочное упражнение № 1

2.2. И.П.: Т располагается снаружи тренажера, рукоятки расположены на уровне груди. Т захватывает крайние рукоятки, расположенные на ближнем по отношению к нему участке рамы. Ноги расположены на полу на ширине плеч. Нагрузка среднего уровня (рисунок 7).

Д.Д.: Выполнить повороты рамы устройства вправо-влево до предельного положения (упор в ограничитель) за счет преимущественного использования движений в плечевых суставах и суставах позвоночника. Количество циклов – 10-12, темп 1 цикл в 2 секунды.

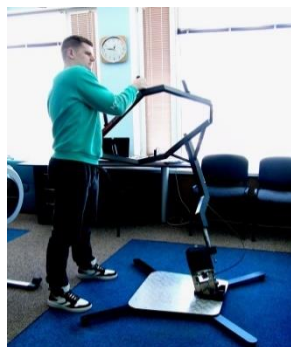


Рисунок 7 – Разминочное упражнение № 2

Тренировка

1. И.П. Т располагается внутри тренажера, не касаясь его спинки. Правая рука захватывает рукоятку, причем угол в плечевом и локтевом суставах соответствуют имеющим место в соревновательном движении (см матрицу позы). Ноги расположены на полу по бокам платформы тренажера. Нагрузка среднего уровня (рисунок 8).

Д.Д.: поворачивая раму тренажера, выполнить движения в плечевом и локтевом суставах, аналогичные соревновательным с акцентом на скорость выполнения упражнения. Выполнить 10-12 скоростных движений с темпом 1 цикл в 2 секунды.



Рисунок 8 – Тренировочное упражнение №1

2. И.П.: Т находится внутри тренажера с упором спиной о спинку устройства. Ноги расположены на полу, при этом левая впереди платформы, а правая – сбоку. Правая рука захватывает рукоятку, причем угол в плечевом и локтевом суставах соответствуют имеющим место в соревновательном движении (см матрицу позы). Левая рука захватывает одну из рукояток на левой стороне рамы. Ноги и позвоночник принимают положения, описанные в матрице позы для начала завершающей фазы броска. Нагрузка среднего уровня.

Д.Д.: выполнить движение рамы устройства (одновременный поворот и наклон), при котором суставные углы изменяются в соответствии с динамикой, имеющей место в соревновательном упражнении. Нагрузка среднего уровня. Движения выполняются с акцентом на скорость (рисунок 9).



Рисунок 9 – Тренировочное упражнение №2

3. И.П.: Т находится снаружи тренажера спереди. Ноги расположены на полу и их суставные углы соответствуют начальному положению завершающей фазы метания. Рама тренажера повернута и наклонена так, чтобы Т мог обеспечить суставные углы правой руки соответствующими начальному положению завершающей фазы метания (рисунок 10).

Д.Д.: поворачивая и наклоняя раму тренажера, выполнить имитацию метательного действия с динамикой суставных движений, соответствующей соревновательному движению. Нагрузка среднего уровня. Движения выполняются с акцентом на скорость.



Рисунок 10 – Тренировочное упражнение №3

2 Экспресс-анализ осанки человека с использованием аналитической матричной формы записи позы

С точки зрения традиционной медицины анатомическое описание асимметрии опорно-двигательного аппарата вызывает определенные сложности. Присутствие значительного количества терминов, как: флексия (сгибание), экстензия (разгибание), латерофлексия (боковой наклон), осевая ротация, медиальное вращение и латеральное вращение, супинация и пронация, абдукция (движение в сторону от исходной оси), аддукция (приближение к исходной оси), усложняет диагностический процесс. Например, описание одной из асимметрий опорно-двигательного аппарата может выглядеть следующим образом: ярко выраженная флексия в пояснично-крестцовом отделе позвоночника, которая сопровождается осевой ротацией в пояснично-грудном и латерофлексией в пояснично-грудном и шейно-грудном отделах. При этом наблюдается пронация плечевого сустава, сильное осевое вращение бедра, присутствует незначительное отведение стопы (абдукция) (рисунок 11) [6].

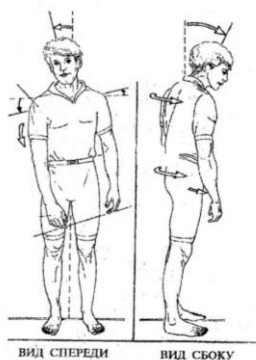


Рисунок 11 – Асимметричная осанка

Возможность упростить процесс описания геометрии опорно-двигательного аппарата является достаточно актуальной, своевременной и необходимой.

Для описания позы с позиций биомеханики используется антропоморфная модель тела человека, состоящая из твердых звеньев, соединенных суставами в биокинематические цепи (рисунок 12).

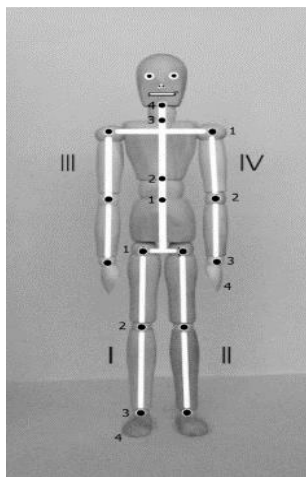


Рисунок 12 – Модель тела человека, используемая в исследовании

Каждое суставное движение обеспечивается разветвленной сетью взаимосвязанных миофасциальных цепей, проходящих от головы до кончиков пальцев рук и ног. При этом сокращение мышц может привести к одновременному изменению суставных углов, относящимся к различным анатомическим типам движения. Например, при отведении руки в плечевом суставе она может быть повернута ладонью вверх. Это соответствует одновременному изменению двух углов: отведения и ротации. При диагностике осанки такая ситуация представляет определенную сложность, что затрудняет определение имеющейся двигательной дисфункции.

В соответствии с подходом, предложенным биомеханиками В.Т. Назаровым и Н.Б. Сотским, поза представляется как описание взаимного расположения звеньев тела человека в пространстве [7]-[9]. При этом она определяется заданием пространственных суставных углов. Они вносятся в специальную 3-D матричную форму, оформленную в виде таблицы, каждая строка которой соответствует определенной биокинематической цепи, а

каждый столбец – суставам в этих цепях. При этом каждая ячейка последовательно содержит три угла, соответствующие анатомическим движениям (таблица 1).

Согласно подходам, применяемым в современной биомеханике, суставные движения, представляются тремя основными типами. Это движения циркумдукции, сгибательно-разгибательные и ротации (рисунок 13). Следует заметить, что к сгибательно-разгибательным движениям здесь относятся сгибание-разгибание, приведение-отведение и промежуточные действия. При этом угол циркумдукции определяет направление движений сгибательно-разгибательного типа.

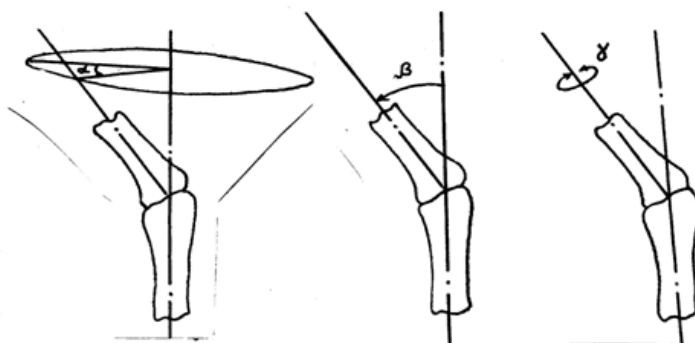


Рисунок 13 – Типы суставных движений

При определении суставных углов следует придерживаться определенных правил:

1. В положении основной стойки все суставные углы во всех суставах условно принимаются равными нулю.
2. Определение суставных углов для конечностей следует начинать соответственно с тазобедренных и плечевых суставов, последовательно переходя к дистально расположенным сочленениям. В суставах позвоночника определение углов начинают с пояснично-крестцового

сочленения, также последовательно переходя к дистально расположенным сочленениям.

3. Суставной угол, образовавшийся в результате движения типа 1 (циркумдукция), равен конусообразному повороту продольной оси исследуемого звена вокруг продольной оси связанного с ним проксимального звена. Конусообразный поворот исследуемого звена против часовой стрелки, если смотреть из конца продольной оси проксимального звена, считается положительным.

4. Суставной угол, образовавшийся в результате сгибательно-разгибательных суставных движений (тип 2), измеряется как угол между продольными осями звеньев, сочлененными в суставе. Так, суставной угол для рассматриваемых движений в случае плоских движений считается положительным, когда отклонение звена в суставе происходит против часовой стрелки.

5. Суставной угол, образовавшийся в результате ротационных суставных движений типа 3, равен углу поворота исследуемого звена вокруг собственной продольной оси. Знак данного суставного угла определяется при рассмотрении этого движения из конца указанной оси звена. При этом если вращение происходит против часовой стрелки, оно считается положительным [2].

Таблица 1 – пример 3-D матрицы

Биокинематические цепи	Номера суставов в биокинематической цепи:											
I. Правая нога	1.Тазобедренный сустав			2.Коленный сустав			3. Голеностопный сустав			4. Суставы пальцев		
	α	β	Υ	α	β	Υ	α	β	Υ	α	β	Υ
II. Левая нога	1.Тазобедренный сустав			2. Коленный сустав			3. Голеностопный сустав			4.Суставы пальцев		
	α	β	Υ	α	β	Υ	α	β	Υ	α	β	Υ
III. Правая рука	1. Плечевой сустав			2. Локтевой сустав			3. Лучезапястный сустав			4.Суставы пальцев		
	α	β	Υ	α	β	Υ	α	β	Υ	α	β	Υ
IV. Левая рука	1. Плечевой сустав			2. Локтевой сустав			3. Лучезапястный сустав			4.Суставы пальцев		
	α	β	Υ	α	β	Υ	α	β	Υ	α	β	Υ
V. Позвоночник	1.Пояснично-крестцовое сочленение			2.Пояснично-грудное сочленение			3.Шейно-грудное сочленение			4. Атлантозатылочный сустав		
	α	β	Υ	α	β	Υ	α	β	Υ	α	β	Υ
Типы суставных движений: α – циркумдукция; β – сгибание-разгибание, отведение-приведение; Υ – ротация												

Циркумдукция задает направление сгибательно-разгибательного движения в суставе. Например, если рассматриваемый находится к наблюдателю правым плечом, то при сгибании левого плечевого сустава вперед на 90° градусов, угол циркумдукции будет составлять (0°) градусов, так как сгибание выполняется вперед, если же строго в сторону, то (90°) градусов, назад – (180°) (рисунок 14).

Ротация осуществляется относительно вертикальной оси рассматриваемого сустава (рисунок 15).

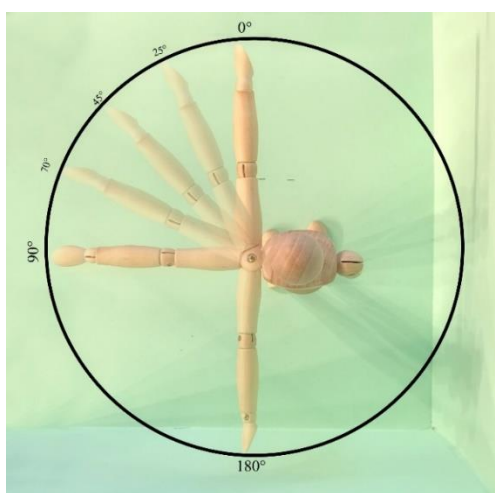


Рисунок 14 – Циркумдукция левого плечевого сустава

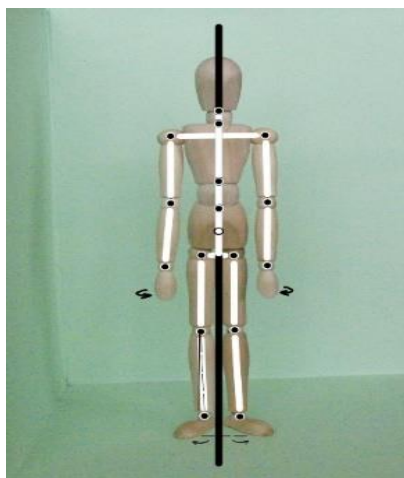


Рисунок 15 – Ротация в плечевых и тазобедренных суставах

В ходе представленного исследования для диагностики осанки использовалось сравнение позы испытуемого с эталоном, описанным Питом Эгоскью.

Пример эталонной осанки во фронтальной плоскости представлен на рисунке 16. При эталонной осанке горизонтальная линия тазобедренных суставов имеет значение 0 градусов и параллельна земле. Плечевые суставы также имеют идеальное горизонтальное положение со значениями 0 градусов. Имеется двусторонняя симметрия (рисунок 17).

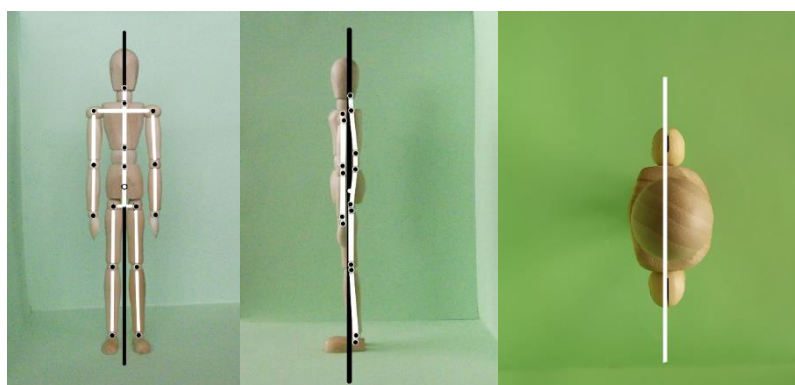


Рисунок 16 – De-Lux

$$\left(\begin{array}{cccc} 0/0/0 & 0/0/0 & 0/0/0 & -/-/-/- \\ 0/0/0 & 0/0/0 & 0/0/0 & -/-/-/- \\ 0/0/0 & 0/0/0 & 0/0/0 & -/-/-/- \\ 0/0/0 & 0/0/0 & 0/0/0 & -/-/-/- \\ 0/0/0 & 0/0/0 & 0/0/0 & 0/0/0 \end{array} \right)$$

Рисунок 17 – Матричная запись состояния De-Lux

На рисунках 18-20, в качестве примера, представлены виды ассиметричной осанки в соответствии с классификацией вышеуказанного автора. При этом поза рассматривается в трех плоскостях, и ее 3D-матричная запись представлена на рисунках 21-23, где показаны суставные углы в основной стойке анализируемой позы.

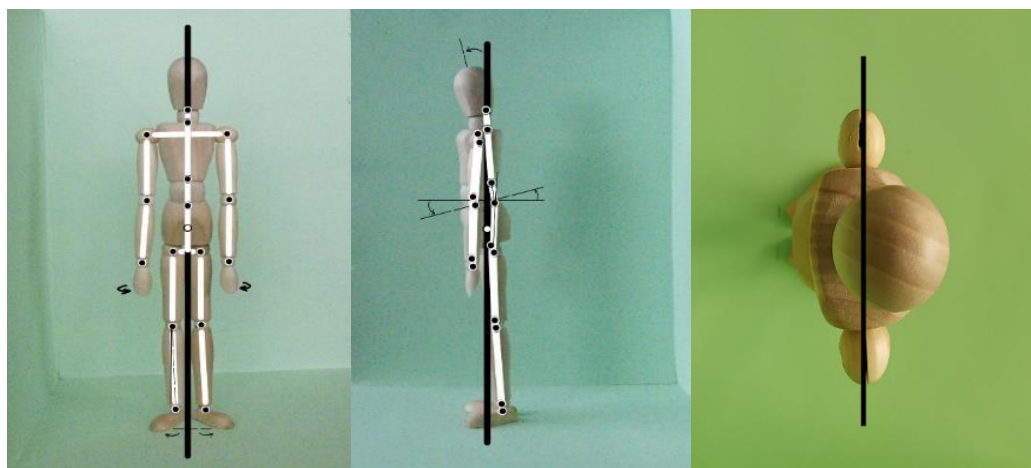


Рисунок 18 – 1 степень

0 / 0 / -45	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	- / - / - /
0 / 0 / 45	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	- / - / - /
0 / 5 / 45	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	- / - / - /
0 / -4 / -45	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	- / - / - /
180 / 10 / 0	0 / 5 / 0	0 / 0 / 0	0 / 7 / 0

Рисунок 19 – Матричная запись перекоса 1 степени

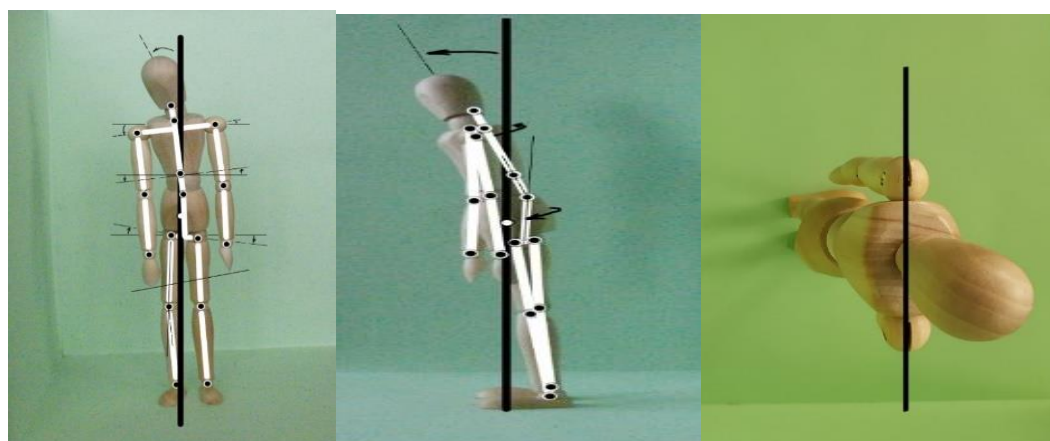


Рисунок 20 – 2 степень

180 / 9 / -45	0 / 0 / 0	0 / 5 / 0	- / - / - /
180 / 10 / 0	0 / 0 / 0	0 / 5 / 0	- / - / - /
0 / 16 / 45	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	- / - / - /
0 / 0 / 0	0 / -5 / 0	0 / 0 / 0	- / - / - /
180 / 5 / 0	0 / 30 / 20	-90 / 7 / -10	0 / 0 / 0

Рисунок 21 – Матричная запись перекоса 2 степени



Рисунок 22 – 3 степень

180 / 7 / 0	180 / 4 / 0	0 / 8 / 0	- / - / - /
180 / 9 / 0	180 / 4 / 0	0 / 8 / 0	- / - / - /
0 / 13 / 45	0 / 3 / 0	0 / 0 / 0	- / - / - /
0 / 17 / -45	0 / 3 / 0	0 / 0 / 0	- / - / - /
0 / 5 / 0	180 / 15 / 0	0 / 10 / 0	180 / 5 / 0

Рисунок 23 – Матричная запись перекоса 3 степени

Анализируя, для примера, матричную запись позы тела перекоса 3 степени (рисунок 22) следует отметить следующие моменты: в зоне поясницы наблюдается значительные изменения угла α : угол 0 градусов в

пояснично-крестцовом и 180 градусов в поясничном-грудном отделах позвоночника свидетельствует о выпрямлении позвоночника в пояснице, угол в 0 градуса в шейно-грудном отделе позвоночника говорит о большом наклоне головы вперед. Изменение угла β в плечевых суставах на 13 и 17 градусов и изменение угла γ на 45 в правом и -45 градусов в левом суставах, в сочетании с углами на позвоночнике приводит к наклону туловища вперед и сутулости спины. Выпрямленный лордоз поясничного отдела компенсируется наклоном таза назад, что соответствуют углам β в 7 и 9 градусов тазобедренных, 4 и 4 градуса в коленных суставах.

Таким образом, экспресс-анализ позы человека в эталонном положении с использованием аналитической матричной записи позволяет проводить объективную диагностику состояния опорно-двигательного аппарата и целенаправленно ставить задачи по устранению проблем на основе использования средств физической культуры, включая современные тренажерные технологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведена высокоскоростная видеосъемка метания копья ведущими спортсменами национальной сборной команды Республики Беларусь.

2. Построена модель исполнения указанного физического упражнения, позволяющая анализировать динамику изменения позы метателя копья в завершающей фазе двигательного действия.

3. Построены матрицы позы для начального и конечного положений завершающей фазы метания копья с последующим анализом динамики суставных движений и выявлением основных управляющих движений метателя.

4. Установлены основные управляющие движения метателя при осуществлении завершающей фазы метания копья:

- циркумдукционное и ротационное движения в тазобедренном суставе левой ноги;
- ротационное движение в плечевом суставе правой (метающей) руки;
- ротационное движение в поясничном отделе позвоночника;
- сгибательно-разгибательное движение в грудном отделе позвоночника.

5. Построена методика использования фрикционного тренажера «Бизон-Т» для специальной силовой тренировки мышц, обеспечивающих выполнение главных управляющих движений завершающей фазы метания копья.

6. Построена экспресс-методика диагностики осанки на основе аналитического способа определения и записи позы человека для последующей организации специальной тренировки, направленной на коррекцию проблем опорно-двигательного аппарата человека.

7. Поставленные в ходе проведенных исследований задачи в целом выполнены, внедрение результатов в отношении построения специальных силовых упражнений для метания копья осуществляется в настоящее время. Использование экспресс-диагностики опорно-двигательного аппарата человека на основе аналитического матричного метода определения и анализа позы вошло в лекционный курс предмета «Биомеханика», а также позволило улучшить состояние.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Курысь, В.Н. Биомеханика. Познание телесно-двигательного упражнения: учебное пособие / В.Н. Курысь. – М.: – Советский спорт, 2013. – С.3–6.
2. Сотский, Н.Б. Биомеханика : учебник / Н.Б.Сотский. – Минск: РИВШ, 2023. – С. 33–40.
3. Верхошанский, Ю.В. Основы специальной физической подготовки спортсменов / Ю.В. Верхошанский. – 2-е изд. - М.: Советский спорт, 2021. – С. 156–166.
4. Сотский, Н.Б. Теоретико-методические основы разработки фрикционных тренажеров со многими степенями: монография / Н.Б.Сотский. – Минск : БГУФК, 2018. – 227 с.
5. Сотский, Н.Б. Устройство для тренировки мышц туловища / Н.Б.Сотский // Евразийский пат. 026800 : МПК [7] A63B 21/012. – 2017. – 10 с.
6. Эгоскью, П.К. Здоровье через движение: революционная программа, которая позволит вам открыть неизведанные возможности вашего тела = The Egoscue Method of Health Through Motion : [пер. с англ.] / П. Эгоскью, Р. Джиттинс. – М. : Крон-Пресс, 1995. – 249 с.
7. Назаров, В. Т. Аналитическое представление движений спортсмена / В. Т. Назаров // Вопросы теории и практики физической культуры. – Вып. 14. – Минск, 1984. – С. 121–123.
8. Сотский, Н.Б. Поза человека и ее аналитическое представление / Н.Б.Сотский // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт ; гол. ред. М. О. Носко. – Чернігів, 2018. – Вип. 154. – Т. 1. – С. 9–15.
9. Назаров, В.Т. Способ определения позы человека / В.Т.Назаров, Н. Б. Сотский [и др.] // Открытия. Изобретения. – 1989. – № 9. – С. 45.