

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ П.М. МАШЕРОВА»

Факультет физической культуры и спорта

Кафедра теории и методики физической культуры и спортивной медицины

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

 О.Н. Малах

27.03.2026

СОГЛАСОВАНО

И.о. декана факультета

 А.А. Синютич

27.03.2026

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

БИОМЕХАНИКА

для специальностей:

6-05-1012-02 Тренерская деятельность (с указанием вида спорта)

6-05-0115-01 Образование в области физической культуры

Автор: Н.А. Тишутин

Рассмотрен и утвержден

на заседании научно-методического совета 27.04.2026, протокол № 5

УДК 612.76(075.8)
ББК 7500я73
Т47

Печатается по решению научно-методического совета учреждения образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова». Протокол № 4 от 26.02.2026.

Автор: преподаватель кафедры теории и методики физической культуры и спортивной медицины ВГУ имени П.М. Машерова
Н.А. Тишутин

Р е ц е н з е н т ы :

кафедра физического воспитания и спорта УО «Витебская ордена
“Знак Почета” государственная академия ветеринарной медицины»;
доцент кафедры спортивно-педагогических дисциплин
ВГУ имени П.М. Машерова, кандидат педагогических наук,
доцент *П.И. Новицкий*

Тишутин, Н.А.

Т47 Биомеханика для специальностей: 6-05-1012-02 Тренерская деятельность (с указанием вида спорта), 6-05-0115-01 Образование в области физической культуры : учебно-методический комплекс по учебной дисциплине / Н.А. Тишутин. — Витебск : ВГУ имени П.М. Машерова, 2026. — 103 с.
ISBN 978-985-30-0328-4.

Изложенный в настоящем издании материал предназначен для студентов факультета физической культуры и спорта и будет полезен при проведении лекционных, практических и лабораторных занятий по учебной дисциплине «Биомеханика». В данном учебно-методическом комплексе представлены разделы: теоретический и практический, контроля знаний и вспомогательный. Рекомендуются для практического использования преподавателями, обучающимися, а также тренерами и учителями физической культуры и здоровья.

УДК 612.76(075.8)
ББК 7500я73

ISBN 978-985-30-0328-4

© Тишутин Н.А., 2026
© ВГУ имени П.М. Машерова, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	4
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	6
Лекция. Введение в биомеханику	6
Лекция. Кинематические характеристики движения точек тела человека. Их пространственные и пространственно-временные характеристики	12
Лекция. Положение тела человека в пространстве	20
Лекция. Динамические характеристики поступательного и вращательного движений	28
Лекция. Силы при выполнении двигательных действий и их энергетические характеристики	37
Лекция. Закономерности полета спортивных снарядов	48
Лекция. Статика	54
Лекция. Биомеханические закономерности освоения двигательного действия ..	59
Лекция. Биомеханика двигательных качеств	63
ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	72
Лабораторная работа. Выбор физического упражнения для анализа, подбор данных для биомеханического исследования	72
Лабораторная работа. Определение скорости и угла вылета точки по опорным реакциям	75
Лабораторная работа. Определение эффективности спортивной техники	77
Лабораторная работа. Определение положения общего центра тяжести тела аналитическим способом	80
Лабораторная работа. Изучение временных характеристик физического упражнения с использованием программы «Kinovea»	82
Лабораторная работа. Изучение угловых характеристик физического упражнения с использованием программы «Kinovea»	83
Лабораторная работа. Определение зависимости эффективности выполнения двигательного действия от исходного положения	84
Лабораторная работа. Анализ программы изменения позы тела человека в исследуемом физическом упражнении	86
Лабораторная работа. Определение высоты и скорости вертикального прыжка с использованием программы «Mu Jump»	90
Лабораторная работа. Изучение влияния угла вылета снаряда на дальность полета при метании мяча	91
Лабораторная работа. Биомеханический анализ техники спринтерского бега: временные и угловые характеристики	93
Лабораторная работа. Изучение индивидуального профиля асимметрии человека	95
РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ	98
Перечень вопросов и практических заданий к экзамену	98
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ	100
Учебно-методическая карта учебной дисциплины	100
Литература	102

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Настоящий учебно-методический комплекс (УМК) «Биомеханика» создан для специальностей 6-05-1012-02 Тренерская деятельность (с указанием вида спорта), 6-05-0115-01 Образование в области физической культуры и будет способствовать подготовке высококвалифицированных специалистов для сферы физической культуры, спорта и туризма.

Цель изучения учебной дисциплины – сформировать знание биомеханических основ двигательных действий человека и практические навыки решения профессиональных задач с использованием современных информационных технологий.

Задачи изучения учебной дисциплины:

- вооружить специалиста в области физической культуры и спорта методами объективного количественного и качественного анализа двигательных действий;
- ознакомить с основными методами поиска наиболее рациональных вариантов обучения и исполнения двигательных действий;
- обучить студентов построению рациональных методик развития двигательных качеств, обуславливающих способности выполнять спортивные движения.

Учебная дисциплина «Биомеханика» в рамках специальности 6-05-1012-02 Тренерская деятельность (с указанием вида спорта) входит в блок государственного компонента (модуль «Биомеханика и измерения в физической культуре и спорте»). По специальности 6-05-0115-01 Образование в области физической культуры учебная дисциплина «Биомеханика» является компонентом учреждения образования и входит в модуль «Физиология, биомеханика и измерения в физической культуре и спорте».

Учебная дисциплина «Биомеханика» логически связана с другими учебными дисциплинами учебного плана. Она базируется на знаниях, полученных студентами при изучении таких дисциплин, как «Анатомия» и «Физиология». Поскольку предметом изучения биомеханики являются законы механического движения в живых системах, то имеющиеся у студентов знания о закономерностях развития и строения тела человека, особенностях функционирования органов и физиологических систем организма будут способствовать более эффективному пониманию и освоению материала по учебной дисциплине «Биомеханика».

Освоение учебной дисциплины для специальностей 6-05-1012-02 Тренерская деятельность (с указанием вида спорта) и 6-05-0115-01 Образование в области физической культуры должно обеспечить формирование базовой профессиональной компетенции: применять методики биомеханического анализа спортивных упражнений в профессиональной деятельности.

В результате изучения учебной дисциплины «Биомеханика» студент должен **знать:**

- методы биомеханического анализа;
- методы определения программ места, ориентации, позы;
- закономерности определения управляющих сил и моментов сил;
- закономерности выполнения управляющих движений в суставах;
- составляющие внутренней структуры двигательного действия;
- последовательность освоения составляющих биомеханической структуры двигательного действия;

уметь:

- определить и анализировать программу движения тела спортсмена;
- определять и анализировать программу измененной позы;
- определять силовые и энергетические характеристики движений;
- оценивать биомеханическую эффективность двигательного действия;

иметь навык:

- определить и анализировать программу движения тела спортсмена;
- определять и анализировать программу измененной позы;
- определять силовые и энергетические характеристики движений;
- оценивать биомеханическую эффективность двигательного действия.

Основная цель создания УМК по учебной дисциплине «Биомеханика» состоит в том, чтобы обеспечить учебно-программной документацией образовательный процесс студентов специальностей 6-05-1012-02 Тренерская деятельность (с указанием вида спорта) и 6-05-0115-01 Образование в области физической культуры. Данный УМК будет способствовать удовлетворению индивидуальных образовательных потребностей студентов и повышению эффективности образовательного процесса в целом.

Учебный материал имеет логическую структуру изложения, что выражается в последовательности подачи материала, а также в наличии связи между рассматриваемыми темами. Рекомендуется сперва изучить материал теоретического раздела УМК для получения представлений о кинематике и динамике движений человека, а также биомеханических основах обучения двигательным действиям и биомеханике двигательных качеств. Далее необходимо закрепить полученные знания, посредством выполнения лабораторных работ в практическом разделе. В разделах контроля знаний и вспомогательном представлена информация для проверки приобретенных в процессе изучения учебной дисциплины знаний, сформированных умений и навыков, а также литературные источники для получения дополнительных углубленных знаний по дисциплине.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Лекция. Введение в биомеханику

1. Биомеханика как научная дисциплина: объект, предмет, цели и задачи
2. Место биомеханики в системе наук о движении человека
3. Основные этапы развития биомеханики
4. Основные разделы и направления современной биомеханики
5. Роль биомеханики для анализа, обучения и совершенствования двигательных действий

1. Биомеханика как научная дисциплина: объект, предмет, цели и задачи

Биомеханика относится к числу междисциплинарных наук и сформировалась на стыке биологии и механики. Механика изучает закономерности механического движения и взаимодействия материальных тел, тогда как биология рассматривает живые системы и процессы их жизнедеятельности. Биомеханика, интегрируя подходы этих наук, исследует механические закономерности движений живых организмов, прежде всего человека.

Особенностью биомеханики является то, что она применяет законы классической механики, разработанные для неживых тел, к анализу движений биологических объектов. Возможность такого подхода была впервые обоснована Леонардо да Винчи, а в дальнейшем получила развитие в трудах отечественных и зарубежных исследователей. Принципиальное отличие движений живых объектов от неживых заключается в их целесообразности и целенаправленности: движение в биологических системах всегда подчинено достижению определенной цели

Объектом познания биомеханики являются двигательные действия человека как целостной системы, включающей взаимосвязанные движения и положения звеньев тела. В норме человек выполняет не просто отдельные движения, а действия, имеющие смысл, цель и структуру, что подчеркивал Н. А. Бернштейн.

Традиционно объектом исследования в биомеханике считаются движения тела человека в пространстве и времени. Хотя в живом организме происходят и другие механические процессы (движение внутренних органов, крови, воздуха), именно движения опорно-двигательного аппарата в настоящее время составляют основное содержание биомеханических исследований.

Предмет биомеханики – это закономерности механического движения живых объектов, а также механические и биологические причины возникновения, выполнения и управления двигательными действиями. **Предметом изучения** являются:

- пространственно-временные характеристики движений;
- силы и моменты сил, действующие при выполнении движений;
- механические свойства опорно-двигательного аппарата;
- способы организации движений для достижения двигательной цели.

Таким образом, биомеханика исследует движения человека не изолированно, а как организованные, управляемые системы, обеспечивающие решение двигательных задач.

Цель биомеханики заключается в оценке эффективности приложения сил для достижения заданной двигательной цели. Изучение движений направлено на то, чтобы выявить, каким образом механическая энергия и мышечные усилия преобразуются в полезный двигательный результат.

В контексте физического воспитания и спорта биомеханика имеет ярко выраженную педагогическую направленность. Она призвана:

- объективно объяснять закономерности построения двигательных действий;
- способствовать эффективному обучению движениям;
- обеспечивать целенаправленное совершенствование техники;
- создавать научную основу для разработки новых, более рациональных способов выполнения упражнений.

В соответствии с поставленной целью в биомеханике выделяют общую и частные задачи. **Общая задача** биомеханики состоит в оценке эффективности способов выполнения движений. Для этого сопоставляют фактические характеристики двигательного действия с требованиями двигательной задачи и определяют насколько рационально используются приложенные силы и энергия.

Частные задачи биомеханики включают: изучение строения, свойств и функций опорно-двигательного аппарата, анализ и оценку рациональности техники двигательных действий, разработку и обоснование новых вариантов техники, моделирование движений и оценку возможности их выполнения, создание биомеханически целесообразных тренажеров и спортивного инвентаря, профилактику травм и снижение их последствий, оптимизацию условий выполнения двигательных действий.

Биомеханика выступает одновременно как фундаментальная и прикладная наука, обеспечивающая научное понимание движений человека. Она создает теоретическую основу для анализа техники, обучения двигательным действиям, повышения спортивных результатов, профилактики травм и развития средств физической реабилитации.

2. Место биомеханики в системе наук о движении человека

Биомеханика как раздел биофизики сформировалась в процессе развития **физических и биологических наук**. Ее возникновение было обусловлено необходимостью объяснения движений живых организмов с позиций законов механики при сохранении биологической специфики живых систем. Современные достижения физики, механики, математики и биологии оказывают существенное влияние на развитие биомеханики, расширяя ее методологические и инструментальные возможности.

В то же время биомеханика не является лишь «прикладным приложением» механики или биологии. Она обогащает смежные науки данными о физике живого движения, позволяя глубже понять особенности анатомического строения и физиологических функций двигательного аппарата человека. Исследование биомеханических систем открывает новые подходы к анализу структурно-функциональной организации движений, которые не могут быть полностью раскрыты средствами только анатомии или физиологии.

Биомеханика занимает особое место среди наук о движении человека благодаря широкому спектру **междисциплинарных связей**. Она тесно связана как с фундаментальными, так и прикладными научными дисциплинами. К числу основных **смежных наук** относятся: кибернетика, анатомия, физиология, психология, педагогика, теория и методика физической культуры.

Эти связи проявляются в использовании понятий, законов и методов смежных наук при сохранении собственной специфики биомеханического анализа движений. Именно эта специфика определяет логику курса биомеханики, последовательность введения основных понятий и закономерностей, а также характер интерпретации получаемых данных.

Важное место в системе наук о движении человека занимает методологическое различие между динамическими и статистическими (вероятностными) законами. В классической механике преобладают динамические законы, в которых следствие однозначно связано с причиной. Однако движения живых организмов формируются под влиянием множества факторов – механических, физиологических и психических, что придает им вероятностный

характер. Это определяет ее особое положение между физическими и биологическими науками и делает необходимым применение статистических методов анализа, моделирования и интерпретации двигательных действий.

Несколько иной характер носят связи биомеханики с науками, изучающими конкретные формы двигательной деятельности человека. К ним относятся теория физической культуры, спортивная наука, физиология труда, космическая медицина и физическая реабилитация. В этих областях широко используются теоретические положения и практические результаты биомеханических исследований для решения прикладных задач.

Одновременно развитие указанных дисциплин выдвигает новые проблемы, требующие биомеханического анализа: совершенствование техники движений, профилактика травм, оптимизация двигательных режимов, адаптация человека к экстремальным условиям деятельности. Таким образом, между биомеханикой и прикладными науками о движении человека складывается **двусторонняя связь**, обеспечивающая взаимное обогащение теории и методов исследования.

В системе наук о движении человека биомеханика занимает **интегративное положение**. Она объединяет механическое описание движения с его биологическим смыслом и педагогической направленностью. Биомеханика выступает связующим звеном между фундаментальными законами движения и практикой обучения, тренировки, реабилитации и профессиональной деятельности человека.

Таким образом, биомеханика не только объясняет, как осуществляется движение, но и позволяет понять, почему определенные способы выполнения двигательных действий являются более рациональными, эффективными и безопасными. Это определяет ее ключевую роль в подготовке специалистов в области физической культуры, спорта и смежных направлений.

3. Основные этапы развития биомеханики

Возникновение биомеханики как самостоятельной области научного знания стало возможным благодаря накоплению знаний в области физических и биологических наук, а также развитию техники и методов исследования движений. Исторически физика – наука о наиболее общих формах движения материи, которая достигла высокого уровня развития значительно раньше, чем биология. Это предопределило первоначальное формирование механических представлений о движении задолго до появления целостного понимания живых систем.

На ранних этапах развития науки знания о движении человека не выделялись в самостоятельную область, а рассматривались в рамках философии, физики и медицины. Тем не менее именно в этот период были заложены фундаментальные идеи, впоследствии ставшие основой биомеханики.

В Древней Греции во времена Аристотеля (384–322 гг. до н. э.) физика понималась как совокупность знаний о природе в целом. Аристотель первым ввел термин «механика», описал действие рычага и других простейших машин, предпринял попытку объяснить причины движений путем логических рассуждений. Ряд его представлений оказались ошибочными, поскольку не опирались на эксперимент, однако сама постановка вопроса о причинах движения имела принципиальное значение для дальнейшего развития науки.

Более устойчивыми оказались работы Архимеда (287–212 гг. до н. э.), заложившего основы статики и гидродинамики как строгих научных дисциплин. Эти положения до настоящего времени используются при анализе равновесия и движения тел, в том числе в биомеханике.

После длительного застоя науки в Средние века новый импульс развитию механики дали исследования эпохи Возрождения. Особую роль в становлении биомеханического мышления сыграл Леонардо да Винчи (1452–1519 гг.), изучавший законы движения, трение, рычажные механизмы и строение человеческого тела. Именно Леонардо да Винчи

впервые сформулировал ключевую для биомеханики идею о том, что движения живых тел подчиняются тем же механическим законам, что и движения неживых объектов. Это положение стало основой для последующего применения законов механики к анализу движений человека.

В XVII–XIX вв. развитие классической механики (работы Галилея, Ньютона, Эйлера и др.) создало строгий математический аппарат для анализа движений. В этот период формируются представления о движении как результате действия сил, что впоследствии позволило перейти к количественному описанию движений человека. Однако на данном этапе движение человека рассматривалось преимущественно как движение абсолютно твердого тела, без учета сложности биологических структур и механизмов управления движениями. Тем не менее именно этот этап подготовил основу для формирования биомеханики как самостоятельной дисциплины.

Качественно новый этап в развитии биомеханики связан с внедрением системно-структурного подхода, согласно которому движение рассматривается как целостная система, свойства которой не сводятся к сумме свойств отдельных элементов. Важным стало изучение не только состава системы, но и ее структуры, взаимосвязи строения и функции. Решающую роль в развитии этого подхода сыграли идеи Н. А. Бернштейна, который рассматривал двигательные действия как управляемые системы, имеющие целевую направленность. По сути, им был реализован кибернетический подход к анализу движений задолго до оформления кибернетики как самостоятельной науки. Это позволило связать механические закономерности движения с процессами управления и регуляции.

Начало развитию биомеханики физических упражнений положил П. Ф. Лесгафт, разработавший курс «Теория телесных движений», который он начал читать в 1877 году. В дальнейшем этот курс был развит его учениками и постепенно оформился в самостоятельную учебную дисциплину.

В 1927 году курс был выделен в самостоятельный под названием «Теория движений», а в 1931 году получил современное название – «Биомеханика физических упражнений». С этого момента биомеханика окончательно утвердилась как научная и учебная дисциплина в системе физического воспитания и спорта.

С 1930-х годов в институтах физической культуры Москвы, Ленинграда, Тбилиси, Харькова и других городов развернулась активная научная и учебная работа по биомеханике спорта. Существенный вклад в ее развитие внесли Н. А. Бернштейн, Е. А. Котикова, Е. Г. Котельникова, Л. В. Чхаидзе, Д. Д. Донской и другие исследователи.

С 1958 года биомеханика была включена в учебные планы всех институтов физической культуры СССР, что привело к созданию специализированных кафедр и расширению биомеханических исследований спортивной техники. Биомеханические методы стали широко применяться в практике подготовки спортсменов и контроля за совершенствованием техники.

Современная биомеханика относится к биологическим наукам нового типа, активно использующим физико-математические методы, компьютерное моделирование и цифровые технологии анализа движений. В ее теоретической основе лежат:

- признание рефлекторной природы систем движений;
- учет сочетания произвольного и автоматического управления;
- рассмотрение тела человека как деформируемой биомеханической системы;
- анализ двигательных действий как совокупности взаимосвязанных движений;
- учет множества внутренних и внешних факторов, влияющих на эффективность движений.

Современная биомеханика имеет ярко выраженную педагогическую направленность. Ее основная цель – совершенствование двигательной деятельности человека в спорте, физическом воспитании, профессиональной деятельности и реабилитации.

Биомеханика как учебная и научная дисциплина широко представлена в зарубежных странах, где она часто преподается под названиями «кинезиология», «анализ движений» и др.

4. Основные разделы и направления современной биомеханики

Современная биомеханика сформировалась как интегративная наука о двигательных действиях человека, что обусловило необходимость структурирования ее содержания в соответствии с предметом, целями и задачами исследования. Поскольку объектом биомеханики являются двигательные действия как системы взаимосвязанных движений и положений тела, а целью – оценка эффективности их выполнения и поиск рациональных способов достижения двигательной цели, разделы биомеханики отражают различные стороны анализа этих систем.

Выделение основных разделов биомеханики основывается на **последовательном переходе** от описания движения к объяснению его механизма, а также педагогическому и прикладному использованию полученных знаний.

Кинематика является базовым разделом биомеханики и занимается описанием движений без учета причин, их вызывающих. В рамках кинематики анализируются пространственно-временные характеристики движений: положения и перемещения звеньев тела, траектории, амплитуды, угловые и линейные скорости, ускорения, ритм и темп движений. Кинематический анализ позволяет установить внешнюю форму двигательного действия, выявить его структуру и фазность, определить целевую направленность движения. Именно на этом уровне становится возможным первичное сопоставление фактического выполнения действия с требуемым результатом, что непосредственно связано с общей задачей биомеханики – оценкой эффективности двигательных действий.

Динамика изучает причины движения и изменения его характеристик. В этом разделе рассматриваются силы и моменты сил, действующие на тело человека и его звенья, а также механическая работа, мощность и энергетические характеристики движений. Динамический анализ позволяет раскрыть механизм двигательного действия, то есть установить, какие силы являются полезными, а какие – «вредными», как они соотносятся во времени и пространстве и каким образом влияют на результат движения. Этот раздел непосредственно связан с предметом биомеханики как науки, исследующей закономерности механического движения живых систем, и служит основой для обоснования рациональной техники и профилактики травм.

Отдельным направлением современной биомеханики является изучение **механических свойств опорно-двигательного аппарата** человека. В рамках этого направления рассматриваются суставы как кинематические пары, мышцы как источники активных сил, а также кости, связки и сухожилия как элементы деформируемых структур. Анализируются упругие, вязкоупругие и пластические свойства тканей, условия передачи и преобразования мышечных усилий, а также ограничения, накладываемые анатомическим строением на возможные способы выполнения движений. Это направление обеспечивает связь биомеханики с анатомией и физиологией и позволяет учитывать биологическую специфику движений человека.

Центральное место в современной биомеханике занимает раздел, посвященный **биомеханике двигательных действий**, в том числе физических упражнений и спортивной техники. Здесь движения рассматриваются как целостные системы, направленные на решение конкретной двигательной задачи в определенных условиях. В этом разделе осуществляется: анализ рациональности существующих способов выполнения движений, разработка и обоснование новых вариантов техники, моделирование двигательных действий, оценка влияния условий выполнения и индивидуальных особенностей человека на результат движения. Данный раздел

наиболее полно реализует педагогическую направленность биомеханики и напрямую связан с ее практическими задачами.

Современная биомеханика включает в себя направление, ориентированное на **обучение и совершенствование движений**. В его рамках изучаются закономерности формирования двигательных навыков, причины двигательных ошибок и пути их коррекции с позиций механической целесообразности. Биомеханический анализ позволяет определить, какие элементы движения являются управляющими, какие – стабилизирующими, и как их целесообразно сочетать в процессе обучения. Этот раздел связывает биомеханику с педагогикой и теорией физического воспитания и обеспечивает научное обоснование методики обучения двигательным действиям.

Важным направлением современной биомеханики является изучение **двигательных качеств** (силы, быстроты, выносливости, ловкости и гибкости) через призму механических закономерностей движений. Здесь двигательные качества рассматриваются не абстрактно, а как способности реализовывать определенные механические условия движения. Биомеханический подход позволяет выявить, какие особенности движения и управления им обеспечивают проявление тех или иных двигательных качеств, что имеет большое значение для оптимизации тренировочного процесса и индивидуализации подготовки.

Наряду с фундаментальными разделами в современной биомеханике активно развиваются **прикладные направления**: биомеханика спорта, биомеханика реабилитации, эргономическая биомеханика, биомеханика взаимодействия человека с инвентарем и средой. В этих направлениях используются теоретические положения и методы биомеханики для решения конкретных практических задач, связанных с повышением эффективности движений, снижением травматизма и улучшением качества жизни человека.

Все перечисленные разделы и направления современной биомеханики образуют единую систему знаний, отражающую многогранность двигательной деятельности человека. Их взаимосвязь определяется общим объектом исследования, едиными целями и задачами биомеханики, а также педагогической направленностью дисциплины.

Лекция. Кинематические характеристики движения точек тела человека. Их пространственные и пространственно-временные характеристики

1. Введение в кинематику
2. Положение точек тела человека в пространстве
3. Пространственные характеристики движения точки
4. Временные характеристики движения
5. Пространственно-временные характеристики движения точки

1. Введение в кинематику

Кинематика является разделом механики, изучающим движения физических тел, при этом не рассматривая причины, которые эти движения вызывают или изменяют. В рамках кинематического анализа изучается описательная сторона движения и его геометрические особенности, такие как положение тел и их точек в пространстве, форма траектории, а также пространственно-временные характеристики движения.

В биомеханике кинематика занимает исходное и принципиально важное место, поскольку любое исследование двигательной деятельности человека начинается с описания того, как именно выполняется движение. Кинематическое описание является обязательным атрибутом биомеханического анализа, так как именно в геометрии движения наиболее полно отражаются особенности достижения двигательной цели. Без такого описания невозможно ни объективное сравнение различных способов выполнения движений, ни последующий анализ их эффективности.

Наглядным аналогом кинематического описания двигательного действия может служить видеосъемка. Она позволяет представить движение в целостной образной форме, содержащей большое количество информации. Однако избыточность такой информации существенно затрудняет анализ, поскольку в качестве цели движения нередко начинает фигурировать само спортивное действие во всех его деталях. В этой связи в биомеханике широко применяется прием формализации цели движения, при котором сложное двигательное действие сводится к перемещению одной или нескольких точек тела человека.

Так, например, цель спринтерского бега может быть определена как максимально быстрое перемещение выбранной точки тела спортсмена. Поскольку тело человека не может пересечь финишную линию иначе, чем через пересечение ее одной из своих точек, такая формализация позволяет объективно оценивать эффективность различных вариантов техники. В биомеханическом анализе спринтерского бега в качестве целевой точки часто выбирают точку, расположенную на туловище спортсмена (рис. 1).



Рисунок 1 – Точка тела во время бега

Эффективность техники в этом случае оценивается по скорости и характеру перемещения этой точки вдоль беговой дорожки. Несмотря на сложную координацию движений звеньев тела, именно траектория и скорость перемещения выбранной точки определяют спортивный результат, так как пересечение финишной линии возможно только через перемещение одной из точек тела спортсмена.

Использование точечного представления движений позволяет, отвлекаясь от второстепенных деталей, сосредоточиться на существенных кинематических характеристиках, определяющих результат двигательного действия. Это создает условия для количественного анализа движений, сопоставления различных способов их выполнения и поиска более рациональных вариантов техники.

Таким образом, кинематика в биомеханике выступает как фундаментальный раздел, обеспечивающий научное описание двигательных действий человека и создающий основу для последующего изучения пространственных, временных и пространственно-временных характеристик движения, а также для перехода к анализу динамических аспектов двигательной деятельности.

2. Положение точек тела человека в пространстве

При биомеханическом анализе движений человека тело рассматривается как **сложная многозвенная система**. Однако для описания и анализа движений часто целесообразно абстрагироваться от реальных размеров звеньев и рассматривать движение отдельных точек тела. Под **точкой** в биомеханике понимают мысленно выделенный элемент тела человека, размеры которого по сравнению с характерными размерами движения можно считать пренебрежимо малыми. Такими точками могут быть: точки суставов, дистальные точки звеньев (кисть, стопа), анатомические ориентиры, общий центр масс тела или его звеньев.

Сведение анализа движения к движению одной или нескольких точек позволяет упростить описание двигательного действия и выделить его целевую направленность. Во многих видах спорта цель движения может быть выражена через перемещение определенной точки тела человека, что делает такой подход методически оправданным и широко применяемым.

Положение точки в пространстве не является абсолютным. Любое движение и покой **относительны** и могут быть определены только по отношению к некоторому ориентиру. Этот фундаментальный принцип кинематики имеет принципиальное значение и для биомеханики. Одна и та же точка тела человека может находиться в покое относительно одного объекта и одновременно двигаться относительно другого. Следовательно, для однозначного определения положения точки необходимо заранее задать условия отсчета, относительно которых это положение будет определяться.

Для **описания положения точек** тела человека в пространстве вводится система отсчета. Система отсчета включает: тело отсчета, условно считаемое неподвижным, начало отсчета, направления отсчета расстояний, единицы измерения. В биомеханике при анализе движений человека в большинстве случаев в качестве тела отсчета принимают поверхность земли, пол или элементы спортивного сооружения. Такие системы с достаточной степенью точности можно считать инерциальными, что существенно упрощает кинематический анализ. Выбор системы отсчета при описании движения в кинематике определяется, прежде всего, удобством анализа и целями исследования. В отличие от динамики, где выбор системы отсчета принципиально важен, в кинематике он не влияет на качественное описание движения.

Наиболее распространенным и удобным способом задания положения точки в биомеханике является декартова система координат. В результате любому положению

точки в пространстве будет соответствовать свой единственный набор из трех чисел – координат (рис. 2).

Каждому положению точки в пространстве соответствует единственный набор координат, что позволяет:

- точно фиксировать положение точки в каждый момент времени;
- проводить количественный анализ движения;
- использовать математические методы обработки данных.

Координатный способ задания положения точки является основным при численном анализе движений спортсмена и при компьютерном моделировании двигательных действий. Помимо координатного, в биомеханике применяются и другие способы задания положения точки в пространстве. Например, **векторный способ** основан на использовании радиус-вектора, проведенного из начала системы координат в рассматриваемую точку. Радиус-вектор полностью определяет положение точки и наглядно отражает ее пространственное расположение. **Естественный способ** задания положения точки заключается в отсчете расстояния, пройденного точкой вдоль траектории ее движения. Этот способ является интуитивно понятным и наглядным, однако менее удобен для точного количественного анализа и потому используется ограниченно.

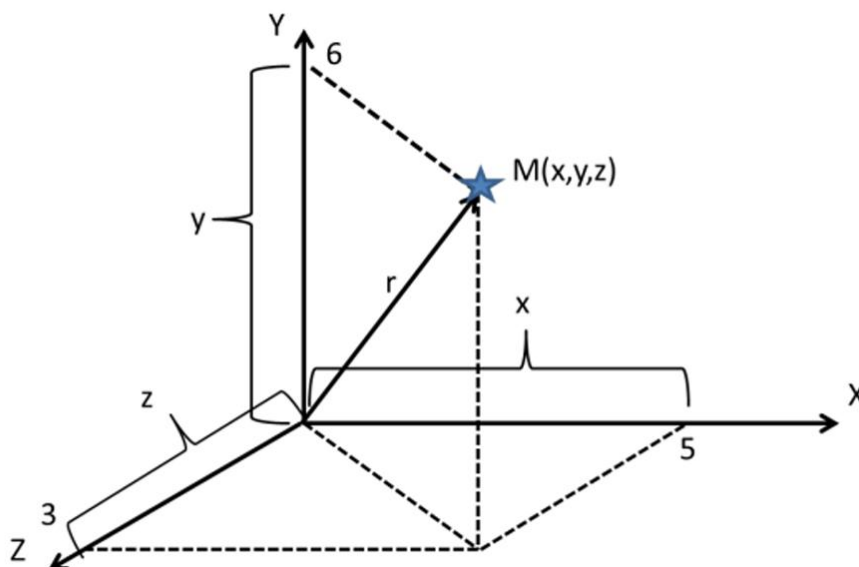


Рисунок 2 – Определение положения точки в пространстве (Н.Б. Сотский, 2023)

Все указанные способы эквивалентны по своему физическому смыслу, однако в биомеханических исследованиях предпочтение отдается координатному способу как наиболее универсальному и точному.

В ряде биомеханических задач важное значение имеет не только линейное, но и угловое положение точки в пространстве. Для его описания используется понятие **угловых координат точки**.

Если провести в интересующую точку тела радиус-вектор из начала системы координат, то угловое положение точки в пространстве будет характеризоваться тремя углами, образованными между радиус-вектором и осями системы координат. Эти углы носят название «углы Эйлера». Они углы будут подробно рассмотрены в дальнейшем изложении. В случае плоского движения для описания углового положения точки достаточно одного угла.

В качестве иллюстрации на рис. 3 приведен пример плоского движения, при котором для определения углового положения используется один угол (α). Положительный отсчет угла в приведенном примере соответствует повороту радиус-вектора против часовой стрелки – относительно оси ОУ, если наблюдать из конца оси координат, перпендикулярной плоскости поворота. В общем случае при плоском движении, когда тело спортсмена перемещается, например, в координатной плоскости ХОУ, для правильного определения знака углового положения следует рассматривать движение из конца оси ОZ. Так, на рис. 3 угловые положения α_1 и α_2 являются отрицательными.

Корректное определение углового положения точки является необходимым условием для дальнейшего анализа вращательных движений и угловых характеристик двигательных действий.

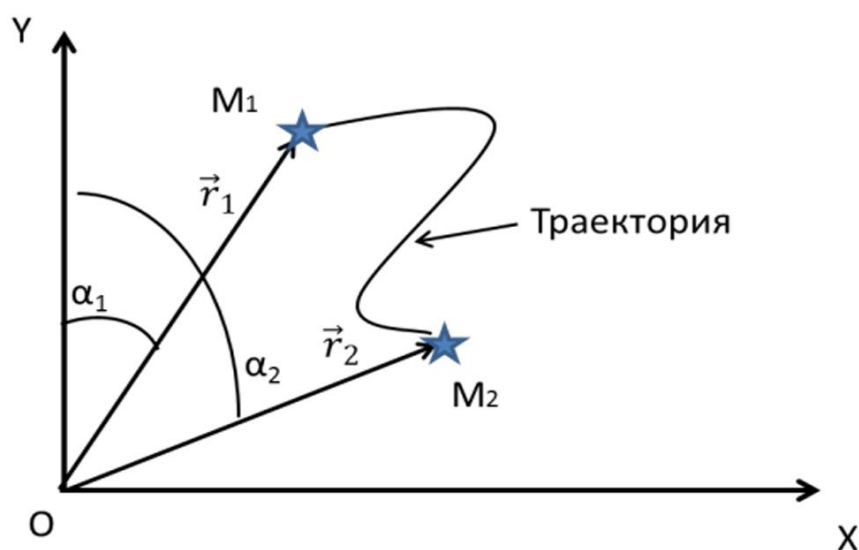


Рисунок 3 – Определение углового положения точки в пространстве (Н.Б. Сотский, 2023)

Точное описание положения точек тела человека в пространстве является исходной основой кинематического анализа движений. Оно необходимо для:

- определения траектории движения;
- анализа пространственных и временных характеристик;
- оценки техники выполнения двигательных действий;
- последующего перехода к анализу скоростей, ускорений и динамических характеристик.

Таким образом, задание положения точек тела человека в пространстве представляет собой фундаментальный этап биомеханического исследования, обеспечивающий научную строгость и объективность анализа движений.

3. Пространственные характеристики движения точки

При анализе движений человека в биомеханике важное значение имеет описание того, каким образом точка тела перемещается в пространстве. Для характеристики пространственной стороны движения используются такие понятия, как **траектория**, **путь** и **перемещение**. Эти характеристики позволяют количественно и качественно оценивать эффективность двигательных действий и сопоставлять различные способы их выполнения.

Траектория движения точки – это воображаемый след, который описывает точка тела человека при своем движении в пространстве в ходе выполнения двигательного действия. Форма траектории отражает пространственную организацию движения и может служить важным показателем его рациональности. В зависимости от характера движения траектория может быть прямолинейной или криволинейной. В последнем случае она характеризуется кривизной, которая может оставаться постоянной либо изменяться по ходу движения.

По форме и длине траектории можно судить об эффективности выполнения спортивного движения. Так, при анализе спринтерского бега на дистанции 100 м траектории движения точек туловища различных спортсменов, как правило, имеют вид волнистых линий (рис. 4). Несмотря на одинаковую длину дистанции, фактическая длина траектории движения точки у разных спортсменов может существенно отличаться. В приведенном примере длина траектории движения точки туловища у спортсмена А составляет около 120 м, а у спортсмена Б – около 130 м. Это свидетельствует о различиях в пространственной организации движений и позволяет сделать выводы о степени их рациональности.

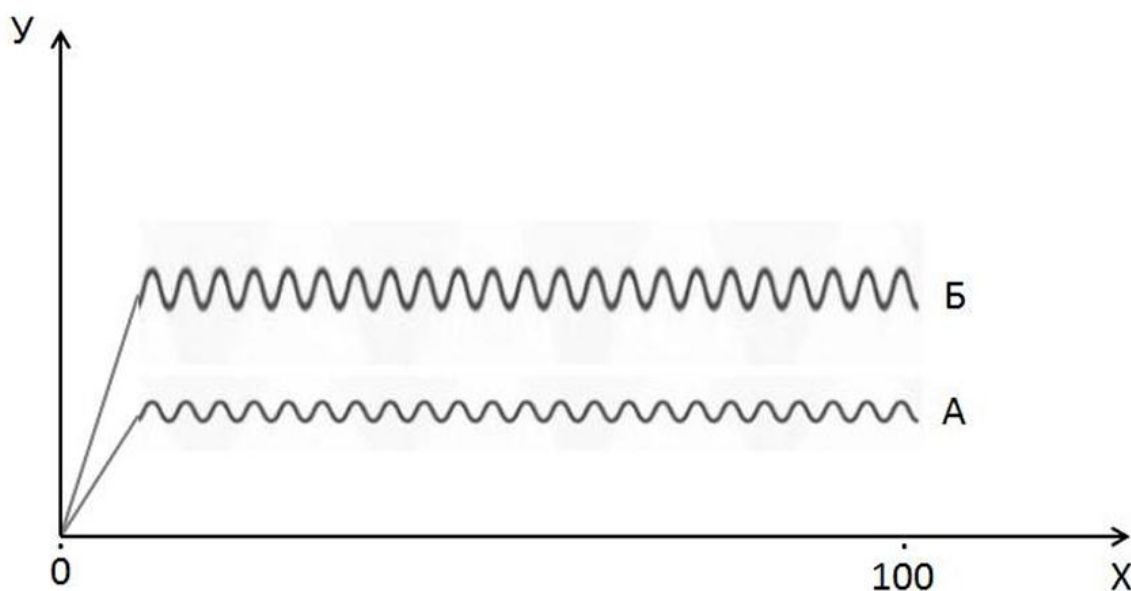


Рисунок 4 – Пример траектории движения одной из точек тела спринтера (Н.Б. Сотский, 2023)

Путь точки – это расстояние, проходимое точкой вдоль траектории ее движения, то есть длина траектории. Путь является скалярной величиной и в биомеханике обычно обозначается буквой S . Путь всегда положителен и не зависит от направления движения точки. В рассмотренном примере путь, пройденный точкой тела спортсмена А, больше длины дистанции и составляет около 120 м, тогда как у спортсмена Б он достигает 130 м.

Линейное перемещение точки представляет собой отрезок прямой, соединяющий начальное и конечное положения точки в пространстве. Перемещение является векторной величиной и обозначается ΔS^{\rightarrow} . Оно изображается в виде стрелки, начало которой соответствует начальному положению точки, а конец – ее конечному положению (рис. 4). Величина линейного перемещения определяется длиной вектора и характеризует кратчайшее расстояние между двумя положениями точки.

Для движения от старта до финиша в спринтерском беге линейное перемещение точки тела спортсмена приблизительно равно длине дистанции и составляет около 100 м. При этом путь, пройденный точкой, оказывается существенно больше.

Помимо линейных перемещений, при выполнении двигательных действий точки тела человека могут изменять свое угловое положение относительно выбранной системы координат. Для анализа таких движений используется понятие **углового перемещения**. Угловым перемещением называется разность угловых координат конечного и начального положений рассматриваемой точки.

Вектор углового перемещения обозначается $\Delta\vec{\alpha}$, а его направление определяется по правилу буравчика. Вектор углового перемещения направлен перпендикулярно плоскости, в которой происходит вращение радиус-вектора точки, в сторону движения острия буравчика при вращении его рукоятки вместе с радиус-вектором. При плоском движении угловое перемещение, происходящее против часовой стрелки, принимается положительным, при этом соответствующий вектор направлен «на наблюдателя». В случае вращения по часовой стрелке угловое перемещение считается отрицательным, а его вектор направлен «от наблюдателя» (рис. 5).

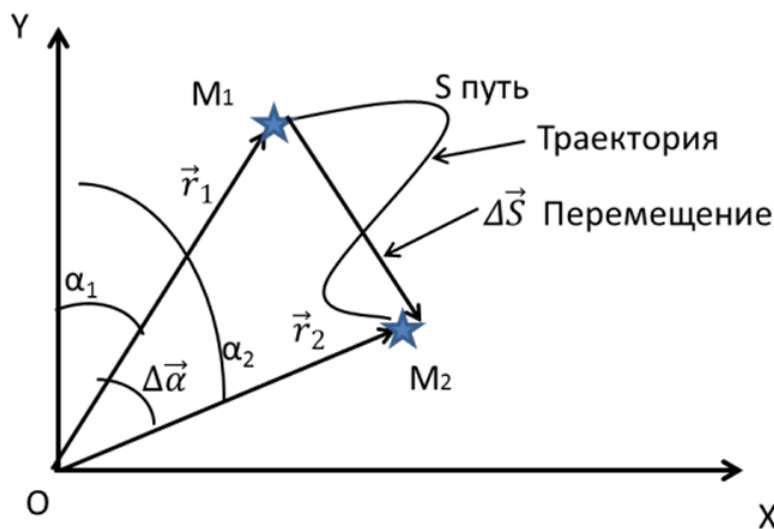


Рисунок 5 – Линейное и угловое перемещения точки (Н.Б. Сотский, 2023)

Таким образом, пространственные характеристики движения точки – траектория, путь, линейное и угловое перемещения – позволяют описывать геометрию движений человека, выявлять их особенности и служат необходимой основой для последующего анализа временных и пространственно-временных характеристик двигательных действий.

4. Временные характеристики движения

Любые перемещения физических тел происходят в пространстве **с течением времени**, поэтому временной аспект является неотъемлемой характеристикой любого движения. В спортивной деятельности значение времени особенно велико, поскольку соревновательный результат во многих видах спорта непосредственно определяется временем прохождения дистанции, выполнения двигательного действия или отдельных его фаз. В связи с этим анализ временных характеристик движения занимает важное место в биомеханике спорта.

В процессе биомеханического анализа движений человека наиболее часто используются такие временные характеристики, как **момент времени**, **промежуток времени**, **длительность движения**, а также **темп** и **ритм** двигательных действий.

Момент времени t определяется количеством единиц времени, прошедших от начала отсчета до рассматриваемой ситуации или положения тела спортсмена. Для обозначения различных моментов времени обычно используются буквенные или цифровые индексы. Так, обозначения t_1 и t_2 могут соответствовать моментам времени, в которые точка тела спортсмена занимает положения 1 и 2, а t_k – моменту окончания движения или его отдельной части.

Промежуток времени определяется как разность двух последовательных моментов времени и выражается формулой: $\Delta t_{12} = t_2 - t_1$.

Длительность движения Δt – это промежуток времени, прошедший от момента начала движения до момента его окончания: $\Delta t = t_k - t_n$. Длительность движения является одной из основных временных характеристик и широко используется при оценке эффективности спортивных действий.

Для анализа **циклических движений** (бег, гребля, плавание, езда на велосипеде) применяется понятие **темпа движения**. Темп показывает, сколько циклов движений выполняется в единицу времени. Например, в академической гребле темп может составлять 30 гребков в минуту. Темп движения определяется как величина, обратная длительности одного цикла: $n = 1 / \Delta t$.

Наряду с темпом важной временной характеристикой является **ритм движения**. Ритм отражает соотношение длительностей отдельных частей (фаз) двигательного действия. Например, при выполнении броска в спортивной борьбе выделяют подготовительную, основную и завершающую фазы, а при выполнении классического толчка штанги – фазы подъема штанги на грудь, вставания и собственно толчка. В таких случаях ритм движения может быть представлен в виде **отношения длительностей отдельных фаз**: $\Delta t_{12} : \Delta t_{23} : \Delta t_{34}$.

Изучение ритма движения имеет большое значение при анализе техники спортивных упражнений. Так, чрезмерное увеличение длительности одной из фаз, например, длительное удержание штанги на груди в положении приседа, приводит к нарушению оптимального ритма движения и может существенно снизить эффективность всего двигательного действия.

Таким образом, временные характеристики движения – момент и длительность движения, темп и ритм позволяют количественно описывать динамику выполнения двигательных действий и являются необходимой основой для анализа эффективности и рациональности техники спортивных движений.

5. Пространственно-временные характеристики движения точки

При биомеханическом анализе движений важнейшее значение имеют **пространственно-временные характеристики**, к которым относятся **скорость** и **ускорение**. Поскольку перемещения точки могут быть как линейными, так и угловыми, в последнем случае используются понятия **угловой скорости** и **углового ускорения**.

Скорость точки характеризует, насколько быстро изменяется ее положение в пространстве с течением времени. В биомеханике различают **среднюю** и **мгновенную** скорость.

Средняя скорость определяется как отношение пути, пройденного точкой, к длительности движения: $V = S / \Delta t$. Средняя скорость дает обобщенную характеристику движения за относительно большой промежуток времени. Например, если спортсмен преодолел дистанцию 100 м за 10 с, его средняя скорость составляет 10 м/с. Однако такая величина не отражает изменений скорости в различных фазах движения и потому используется в основном для приближенной оценки.

Более точной характеристикой движения является **мгновенная скорость**, которая определяется как отношение перемещения точки к предельно малому промежутку

времени. В математическом смысле мгновенная скорость представляет собой первую производную перемещения по времени. Мгновенная скорость является векторной величиной, направление которой совпадает с направлением вектора перемещения.

В процессе выполнения спортивных движений скорость точек тела человека, как правило, изменяется. Для характеристики изменения скорости вводится понятие **ускорения**. Ускорение, как и скорость, может быть средним и мгновенным.

Среднее ускорение определяется как отношение изменения скорости к промежутку времени, в течение которого это изменение произошло: $a = (V_2 - V_1) / \Delta t$. В данной формуле V_2 – вектор скорости в момент времени t_2 , V_1 – вектор скорости в момент t_1 , $\Delta t = t_2 - t_1$ – промежуток времени, в течение которого произошло изменение скорости.

Мгновенное ускорение определяется как предел этого отношения при бесконечно малом промежутке времени. Ускорение является векторной величиной, направление которой совпадает с направлением вектора изменения скорости. Следует отметить, что мгновенные значения скорости и ускорения являются теоретическими величинами. В практических биомеханических исследованиях мгновенными обычно считают значения, определенные для промежутков времени порядка 0,01 с и менее.

При выполнении двигательных действий точки тела человека могут изменять не только свое линейное, но и **угловое положение** относительно выбранной системы координат. Для анализа таких движений используются понятия **угловой скорости** и **углового ускорения**.

Угловая скорость характеризует быстроту изменения углового положения точки и может быть средней или мгновенной. Угловая скорость является векторной величиной, направление которой определяется по правилу буравчика и совпадает с направлением вектора углового перемещения.

Угловое ускорение характеризует изменение угловой скорости во времени и определяется по формулам которого совпадает с направлением изменения угловой скорости.

Пространственно-временные характеристики движения точки позволяют количественно описывать динамику перемещений точек тела человека во времени. Анализ линейных и угловых скоростей и ускорений дает возможность выявлять особенности выполнения двигательных действий, оценивать эффективность техники и характер изменения движений в различных фазах упражнения. Использование как средних, так и мгновенных значений этих характеристик обеспечивает переход от обобщенной оценки двигательного действия к детальному анализу его структуры, что является необходимой основой для научного обоснования совершенствования техники спортивных движений.

Лекция. Положение тела человека в пространстве

1. Программа места
2. Программа ориентации
3. Программа позы
4. Элементы динамической осанки и управляющие движения в суставах

Положение любого физического тела в пространстве может быть задано через положение составляющих его точек. В простейшем случае, когда тело можно представить в виде материальной точки, для однозначного определения его пространственного положения достаточно задать три координаты. Такой подход широко используется в кинематике при анализе поступательных перемещений.

Если же рассматривается твердое тело, то его положение в пространстве определяется уже не одной, а координатами как минимум **трех точек, не лежащих на одной прямой**. Это позволяет однозначно задать не только место расположения тела, но и его ориентацию относительно выбранной системы координат.

Определение пространственного положения **тела человека** представляет собой значительно более сложную задачу. Тело человека – это многозвенная система, состоящая из большого числа взаимосвязанных звеньев. Даже при существенном упрощении модели – если рассматривать звенья как твердые тела, объединять мелкие сегменты (например, фаланги пальцев) и считать туловище одним звеном, то для точного задания положения тела в пространстве требуется указать координаты десятков, а в ряде случаев и более ста точек. При анализе спортивных движений, где измерения нередко выполняются с шагом 0,01 с и менее, прямое задание такого количества координат становится практически нецелесообразным даже при использовании современных средств компьютерного анализа.

В связи с этим в биомеханике применяется обобщенный подход к описанию пространственного положения тела человека. На вопрос «где находится спортсмен?» можно ответить, указав координаты всего одной характерной точки тела, например, общего центра масс. Если дополнительно задать положение еще одной или двух точек, становится возможным определить **ориентацию тела** в пространстве – то есть установить, под какими углами оно расположено относительно осей системы координат. Для полного описания пространственного положения тела остается задать **взаимное расположение его звеньев**, то есть позу.

Таким образом, в биомеханике положение тела человека в пространстве описывается через три взаимосвязанные характеристики: **место, ориентацию и позу**. В процессе выполнения спортивных движений эти характеристики непрерывно изменяются, а их целенаправленное формирование и управление осуществляется за счет деятельности нервно-мышечной системы. В связи с этим в биомеханическом анализе движений рассматриваются **программы места, программы ориентации и программы позы**, а также элементы динамической осанки и управляющие движения в суставах.

1. Программа места

Под **программой места** понимают совокупность управляющих воздействий и закономерностей, обеспечивающих перемещение тела человека в пространстве и достижение им заданного положения относительно выбранной системы отсчета. Иными словами, программа места отвечает на вопрос: где должно находиться тело спортсмена в каждый момент времени при выполнении двигательного действия.

Для описания места тела человека в пространстве, как правило, выбирается одна характерная точка тела. Чаще всего в качестве такой точки используется общий центр

масс тела или близкая к нему анатомическая точка (рис. 6). Положение выбранной точки однозначно определяет место расположения тела в пространстве и позволяет существенно упростить анализ движения без потери его принципиального смысла.

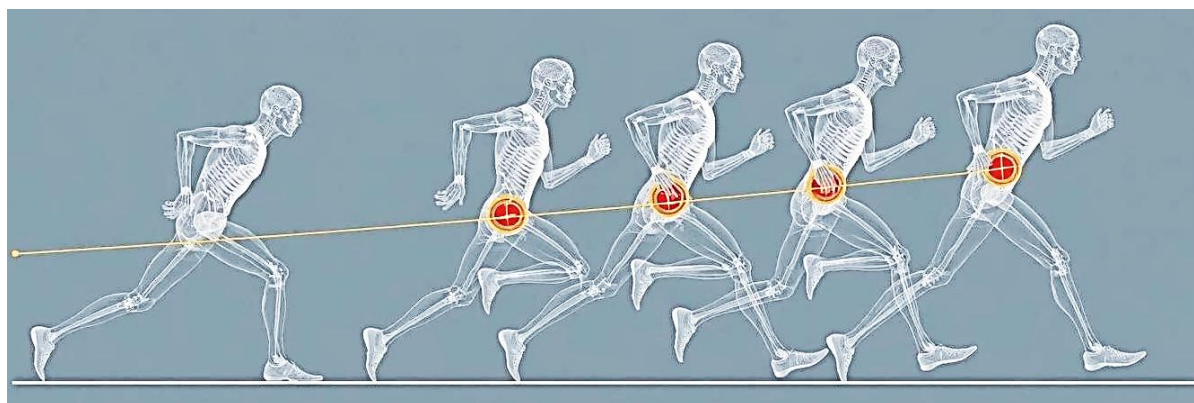


Рисунок 6 – Программа места тела спортсмена, представленная траекторией движения характерной точки общего центра масс тела

В рамках биомеханического анализа программа места может быть представлена в виде траектории, графиков координат, скорости и ускорения точки тела. Таким образом, программа места тесно связана с кинематическими характеристиками движения и опирается на анализ пространственно-временных параметров.

В спортивной деятельности программа места имеет решающее значение в тех видах спорта, где результат определяется перемещением тела спортсмена в пространстве. К таким видам относятся бег, плавание, гребля, лыжные гонки, конькобежный спорт, а также большинство прыжковых и игровых видов спорта. В этих случаях эффективность двигательного действия во многом зависит от рациональности траектории движения точки, выбранной для описания места тела, а также от оптимального распределения скорости и ускорения по дистанции.

Следует подчеркнуть, что **программа места** не описывает взаимного расположения звеньев тела и не определяет ориентацию спортсмена в пространстве. Эти аспекты относятся к другим уровням управления движением – программе ориентации и программе позы. Однако реализация программы места невозможна без согласованной работы звеньев тела, поскольку именно движения в суставах обеспечивают фактическое перемещение тела в пространстве.

При выполнении спортивных движений программа места может быть относительно стабильной или, напротив, существенно изменяться в зависимости от условий выполнения упражнения, тактических задач и индивидуальных особенностей спортсмена. Анализ программы места позволяет выявлять различия в технике спортсменов, оценивать эффективность двигательных действий и служит основой для целенаправленного совершенствования техники и тренировочного процесса.

2. Программа ориентации

В процессе выполнения двигательных действий тело спортсмена не только перемещается в пространстве, но и поворачивается определенным образом относительно выбранной системы координат. Описание и управление такими вращательными движениями тела осуществляется с помощью **программы ориентации**. Она отвечает на вопрос: как должно быть ориентировано тело спортсмена в пространстве в каждый момент выполнения движения.

Программа ориентации представляет собой описание вращательного движения тела как целого. При вращении все точки тела движутся по окружностям и имеют одинаковые угловые скорости, несмотря на то что линейные скорости различных точек при этом могут отличаться. Для корректного описания ориентации тела необходимо использовать специальную систему координат, жестко связанную с телом спортсмена.

Для этого вводятся так называемые **собственные оси тела** (рис. 7). Мысленно тело спортсмена делят на две равные части – верхнюю и нижнюю – и через центры тяжести этих частей проводят продольную ось тела, направленную от ног к голове. Эта ось проходит через общий центр масс тела. Две другие оси проводят через общий центр масс перпендикулярно друг другу и продольной оси. Продольную ось тела обозначают как OY' , переднезаднюю – OX' , а поперечную – OZ' . Эти оси жестко связаны с телом спортсмена и изменяют свое положение в пространстве вместе с изменением ориентации тела.

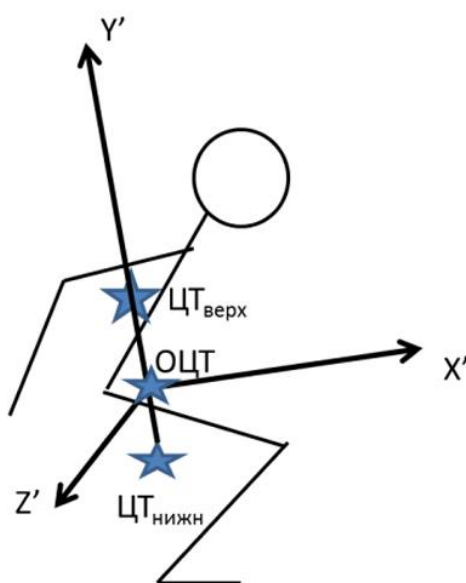


Рисунок 7 – Собственные оси тела спортсмена (Н.Б. Сотский, 2023)

Для описания ориентации тела в пространстве собственные оси тела сопоставляют с неподвижной системой координат, связанной с поверхностью земли или спортивного снаряда. Углы между собственными осями тела спортсмена и соответствующими осями неподвижной системы координат называются углами ориентации или **углами Эйлера**. Они позволяют количественно описывать положение тела спортсмена в пространстве и изменение этого положения во времени.

В спортивной практике изменение ориентации тела можно наблюдать во многих движениях. Так, при выполнении большого оборота на перекладине основное изменение происходит в ориентации тела вокруг продольной оси, тогда как остальные углы изменяются незначительно (рис. 8). При выполнении поворотов на месте или в движении, характерных для строевых упражнений и игровых видов спорта, изменяется ориентация тела вокруг вертикальной оси. В упражнениях спортивной гимнастики, связанных с махами и сальто с поворотами, одновременно изменяются несколько углов ориентации, что требует высокой координации движений.

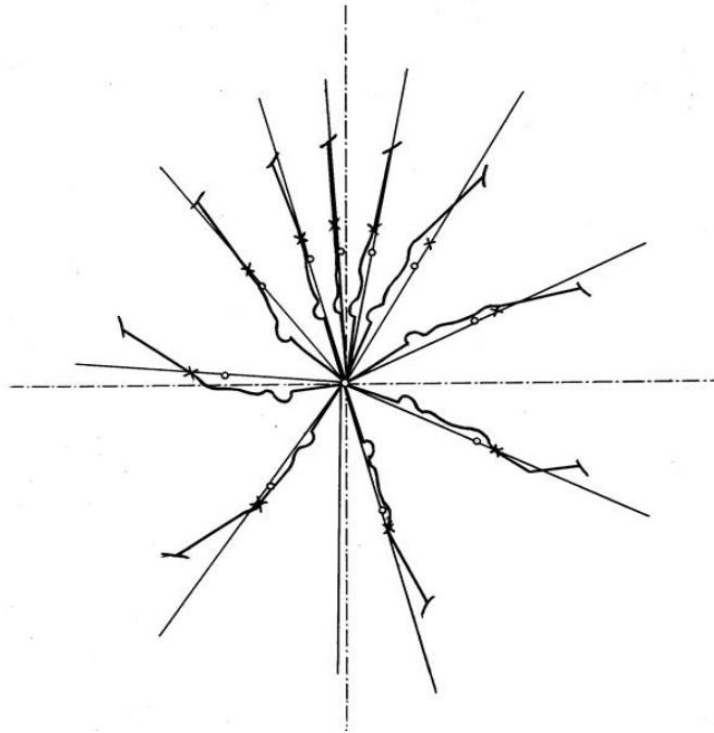


Рисунок 8 – Большой оборот на перекладине

Во многих спортивных движениях тело спортсмена можно рассматривать как движущееся в одной плоскости. В этом случае ориентация тела описывается одним углом, что значительно упрощает анализ. Такая ситуация характерна для большинства движений в легкой и тяжелой атлетике, велоспорте и беге.

При анализе программы ориентации важно учитывать не только величины угловых перемещений, но и пространственно-временные характеристики вращательного движения, прежде всего **угловые скорости** и **угловые ускорения**. Эти характеристики позволяют оценивать быстроту и плавность изменения ориентации тела, а также согласованность вращательных движений с перемещением тела в пространстве.

Программа ориентации тесно связана с программой места. Совокупность программы места и программы ориентации образует **общую программу движения**, которая во многих случаях однозначно определяет цель и результат двигательного действия. Например, в фазе полета прыжка в длину траектория общего центра масс тела спортсмена определяется программой места, а положение туловища и конечностей относительно этой траектории – программой ориентации. Рациональное сочетание этих программ обеспечивает устойчивость, эффективность и безопасность выполнения спортивного движения.

При выполнении спринтерского бега реальная траектория ОЦТ представляет собой волнистую линию (рис. 4), соответствующую движению указанной точки при прохождении дистанции. Пройденный путь оказывается существенно больше расстояния от старта до финиша. Для данного примера идеальной траекторией, определяющей программу места, будет являться прямая линия, соединяющая старт и финиш. При этом программа ориентации предполагает сохранение углов Эйлера постоянными.

Таким образом, программа ориентации является важнейшим компонентом управления движениями человека, обеспечивающим целенаправленное изменение положения тела в пространстве и создающим основу для формирования рациональной позы и эффективной динамической осанки.

3. Программа позы

При выполнении спортивных движений эффективность и безопасность действия во многом определяются тем, как изменяются углы в суставах тела спортсмена. Описание этих изменений во времени составляет содержание программы позы. Иными словами, **программа позы** отвечает на вопрос: в какой позе и как должна находиться каждая часть тела спортсмена в каждый момент выполнения движения.

Для анализа программы позы тело спортсмена рассматривается как система **твердых звеньев**, соединенных между собой в **биокинематические цепи**. Каждая биокинематическая цепь соответствует определенной части тела: правая и левая ноги, правая и левая руки, а также позвоночник с головой (рис. 9). Такое представление позволяет упростить анализ движений и сосредоточиться на наиболее значимых для техники суставах.

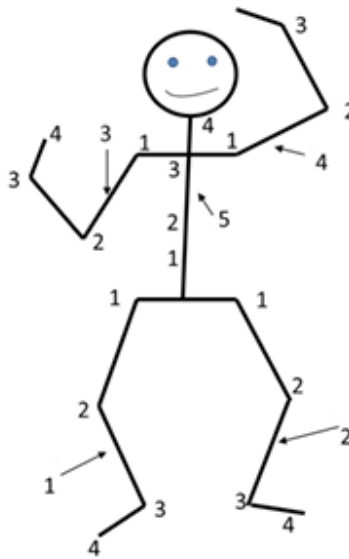


Рисунок 9 – Упрощенная модель тела человека, применяемая в процессе определения позы (Н.Б. Сотский, 2023)

Каждая биокинематическая цепь включает несколько суставов, в которых возможны различные типы движений. В практическом биомеханическом анализе суставы конечностей обычно рассматриваются на уровне тазобедренных и плечевых, коленных и локтевых, голеностопных и лучезапястных суставов. Суставы пальцев, как правило, объединяются и учитываются обобщенно, поскольку при движениях, связанных со значительными перемещениями тела спортсмена в пространстве (бег, прыжки, метания), их вклад в общую позу не является определяющим.

Позвоночник при анализе программы позы также рассматривается в упрощенном виде и условно представляется как система нескольких суставов, соответствующих основным отделам позвоночного столба. Это позволяет учитывать изменения положения туловища и головы без чрезмерного усложнения модели.

Поза тела спортсмена определяется **совокупностью суставных углов**, каждый из которых может изменяться во времени. В биомеханике выделяют **три основных типа суставных движений**: сгибательно-разгибательные движения, движения приведения и отведения, вращательные (ротационные) движения (рис. 10).

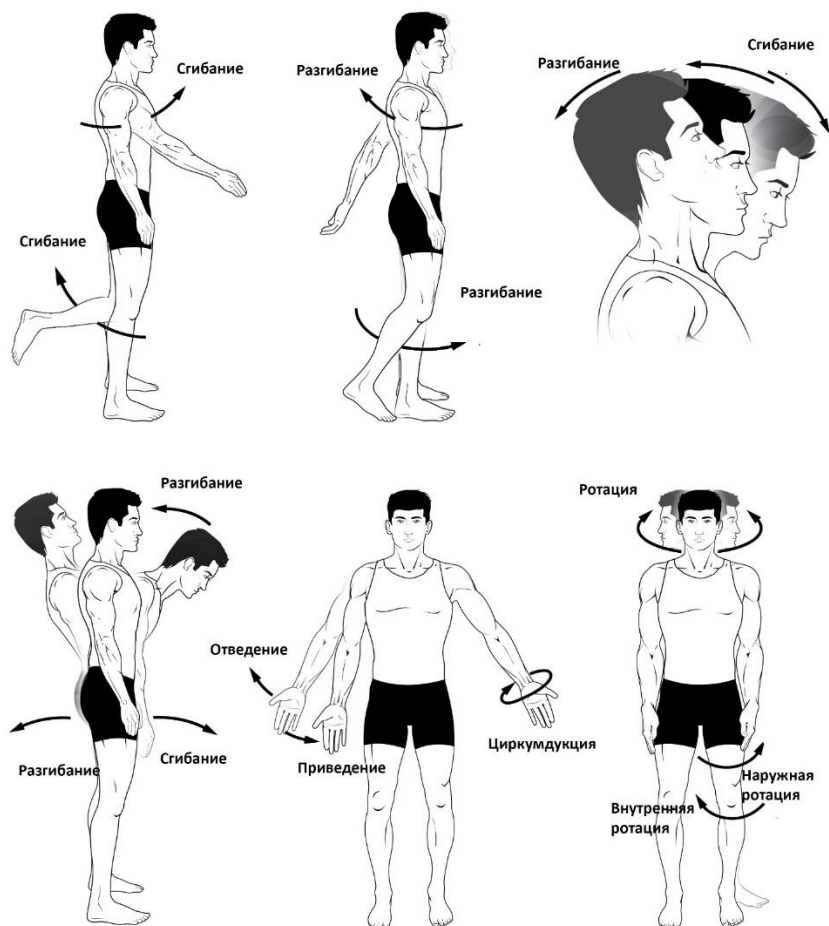


Рисунок 10 – Типы суставных движений

Каждый сустав обладает определенным количеством **степеней свободы**, то есть возможных независимых движений. Так, тазобедренные и плечевые суставы имеют три степени свободы, локтевые – две, а суставы пальцев – одну. Количество степеней свободы определяет возможное разнообразие поз и сложность управления движением.

Программа позы может быть представлена как **изменение суставных углов во времени**. Если суставные углы остаются постоянными, поза считается фиксированной. В реальных спортивных движениях поза, как правило, непрерывно изменяется, что особенно характерно для сложных координационных действий.

В спринтерском беге программа позы включает согласованные изменения углов в тазобедренных, коленных и голеностопных суставах, обеспечивающие эффективное отталкивание и перенос ноги. В прыжках программа позы определяет положение туловища и конечностей в фазах отталкивания, полета и приземления. В спортивной гимнастике и акробатике программа позы играет ведущую роль, поскольку именно взаимное расположение звеньев тела определяет сложность и качество выполняемого элемента.

Программа позы тесно связана с программой ориентации и программой места. Изменения в суставах обеспечивают повороты тела и его перемещение в пространстве, а нарушение согласованности между программой позы и другими программами движения приводит к снижению эффективности техники и повышению риска травм.

Таким образом, программа позы является ключевым компонентом биомеханического управления движениями человека. Она определяет структуру двигательного действия, обеспечивает реализацию программы ориентации и программы места и служит основой для анализа и совершенствования техники спортивных движений.

4. Элементы динамической осанки и управляющие движения в суставах

В биомеханическом анализе спортивных движений важно не только знать, как перемещается тело спортсмена в пространстве, но и понимать, какие суставы в этот момент должны быть зафиксированы, а какие – двигаться. Для описания этих особенностей вводятся понятия **элементов динамической осанки и управляющих движений в суставах**.

Традиционно под осанкой понимают определенное взаимное расположение звеньев тела человека, обеспечивающее нормальную работу опорно-двигательного аппарата и внутренних органов. Как правило, осанка рассматривается в статических условиях – при стоянии, сидении, выполнении строевых упражнений.

Однако в спортивной деятельности человек выполняет движения в условиях, когда величина и направление действующих сил постоянно изменяются. В таких условиях возникает необходимость сохранять или временно ограничивать подвижность отдельных звеньев тела. Такая форма осанки получила название **динамической осанки**.

Динамическая осанка – это сохранение определенного взаимного расположения звеньев тела в процессе движения при действии переменных внешних и внутренних сил. Она не является постоянной и состоит из отдельных элементов.

Элемент динамической осанки – это временное ограничение подвижности в определенном суставе, необходимое для успешного выполнения двигательного действия. Элементы динамической осанки присутствуют в любом спортивном движении и выполняют роль своеобразных «опорных точек», на основе которых строится движение.

В спортивной гимнастике при выполнении большого оборота на перекладине важнейшим элементом динамической осанки является жесткая фиксация суставов кисти, обеспечивающая надежный захват грифа; при ходьбе и беге наблюдается относительная фиксация углов в позвоночнике, позволяющая сохранять устойчивость и экономичность движений; в тяжелой атлетике при выполнении приседа со штангой необходимо поддерживать стабильное положение позвоночника, несмотря на внешние нагрузки.

Нарушение ключевых элементов динамической осанки приводит либо к **невозможности выполнения движения**, либо к резкому снижению его эффективности и повышению риска травм.

Если элементы динамической осанки создают условия для выполнения движения, то непосредственное перемещение тела или его частей в пространстве обеспечивается за счет **управляющих движений в суставах**.

Управляющие движения – это целенаправленные изменения суставных углов, обеспечивающие достижение цели двигательного действия. В зависимости от их роли в структуре движения управляющие движения подразделяются на **главные** и **вспомогательные**.

Главные управляющие движения – это движения, без которых достижение цели невозможно. Они составляют основу двигательного действия и не могут быть заменены другими движениями. Например, разгибание в тазобедренных, коленных и голеностопных суставах при отталкивании в прыжках; разгибание руки в локтевом суставе при метании ядра; активная работа ног при старте и разгоне в спринтерском беге.

Вспомогательные управляющие движения выполняют корректирующую функцию. Они используются для уточнения техники, компенсации недостатка силы или координации, а также для исправления двигательных ошибок. Примером может служить активная работа рук при беге, способствующая стабилизации положения туловища и повышению эффективности движений ног.

Главные управляющие движения всегда являются **обязательными**, тогда как вспомогательные могут изменяться в зависимости от уровня подготовленности спортсмена и условий выполнения упражнения.

Каждому двигательному действию соответствует свой индивидуальный набор элементов динамической осанки и управляющих движений. В обобщенном виде двигательную деятельность можно представить в следующем виде: «**Двигательное действие = элементы динамической осанки + управляющие движения (главные + вспомогательные)**». Знание этой внутренней структуры позволяет целенаправленно организовать процесс обучения технике, выявлять причины двигательных ошибок и оптимизировать тренировочный процесс.

При анализе движений важно учитывать, что наблюдаемая механическая форма упражнения является результатом взаимодействия нескольких сфер обеспечения движения. В соответствии с представлениями В. Т. Назарова, внутренняя структура двигательного действия включает три взаимосвязанных блока (рис. 11).

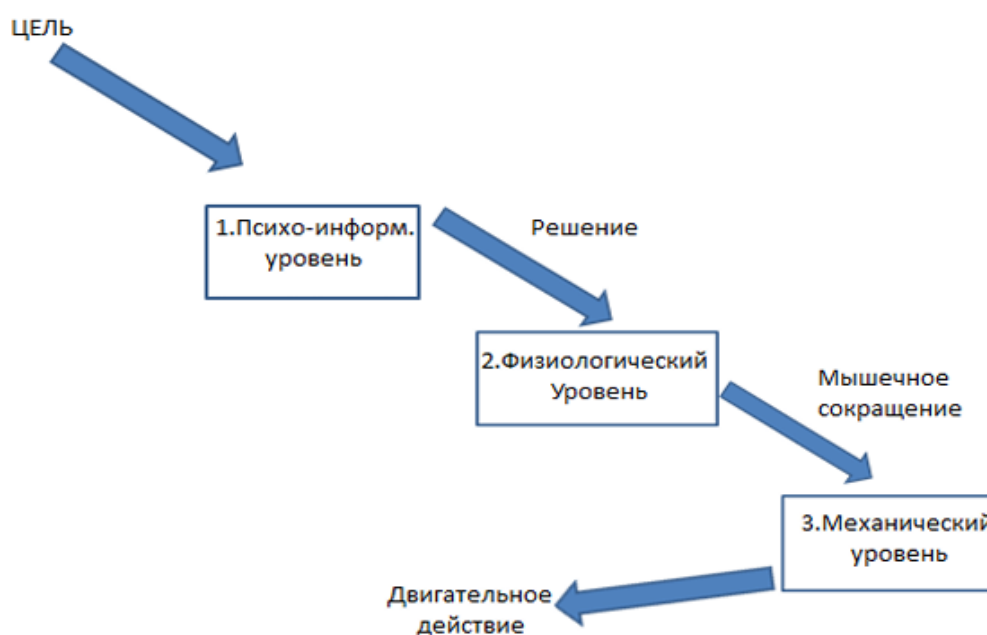


Рисунок 11 – Внутренняя структура физического упражнения (Н.Б. Сотский, 2023)

Цель двигательного действия выступает системообразующим фактором, объединяющим указанные блоки. Сначала формируется двигательная задача, затем происходит активация физиологических механизмов, приводящая к мышечным сокращениям, которые реализуют элементы динамической осанки и управляющие движения в суставах. Итогом является достижение заданного механического результата.

В рамках биомеханики преимущественно рассматривается **механическая сторона движений**, описываемая с помощью координат, траекторий и суставных углов. Однако для полноценного понимания спортивных движений необходимо учитывать и физиологические, и психо-информационные аспекты, определяющие ресурсы и условия реализации движения.

Анализ элементов динамической осанки и управляющих движений позволяет глубже понять **внутреннюю структуру физических упражнений**, служит основой для их классификации и широко используется при разработке тренировочных технологий.

Лекция. Динамические характеристики поступательного и вращательного движений

1. Динамика
2. Динамические характеристики поступательного движения
3. Динамические характеристики вращательного движения

В предыдущих разделах основное внимание уделялось описанию движений – положению тела и его частей в пространстве, траекториям, скоростям и ускорениям. Такой подход позволяет ответить на вопрос «**как движется тело спортсмена?**», однако он не раскрывает причин возникновения движения.

Для понимания и объяснения спортивных движений необходимо рассмотреть, почему движение происходит именно так, за счет каких сил и усилий мышц оно обеспечивается, а также как изменяются нагрузки на опорно-двигательный аппарат. Этими вопросами занимается раздел биомеханики, называемый **динамикой**.

Динамика изучает движение тел с учетом действующих на них сил. В спортивной деятельности это, прежде всего, силы мышечного сокращения, силы тяжести, реакции опоры, сопротивление среды и силы взаимодействия между отдельными звеньями тела. Именно взаимодействие этих сил определяет эффективность техники и величину развиваемых усилий.

В спорте движения тела человека могут иметь как **поступательный характер** (например, перемещение центра тяжести при беге или прыжке), так и **вращательный характер** (движения звеньев в суставах, вращения тела в гимнастике, фигурном катании, акробатике). В большинстве двигательных действий поступательные и вращательные движения тесно связаны между собой и должны рассматриваться совместно.

В данной лекции будут рассмотрены **основные динамические характеристики** поступательного и вращательного движения, позволяющие количественно описывать влияние сил на движение спортсмена. Понимание этих характеристик является необходимой основой для анализа техники спортивных упражнений, оптимизации тренировочного процесса и профилактики травм.

1. Динамика

В спортивной деятельности тело человека может выполнять **поступательные движения, вращательные движения** или сочетать оба этих вида. Например, при беге центр тяжести тела спортсмена перемещается поступательно, а звенья конечностей одновременно совершают вращательные движения в суставах. Для анализа таких движений в динамике используются законы классической механики, прежде всего **законы Ньютона**.

При поступательном движении все точки физического тела движутся одинаково. В этом случае для анализа динамики тело можно мысленно заменить **материальной точкой**, в которой сосредоточена вся его масса. Такое упрощение широко применяется при изучении движения центра тяжести спортсмена.

Согласно **первому закону Ньютона**, если на тело не действуют силы, оно сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Следовательно, изменение скорости движения всегда связано с действием сил.

В спорте это проявляется постоянно. Например, после отрыва от опоры в прыжке в высоту вертикальная скорость тела спортсмена постепенно уменьшается. Причиной этого является **сила тяжести**, действующая на тело спортсмена. Аналогично в гребле ускорение лодки или ее замедление определяется силами взаимодействия с водой.

Мерой взаимодействия тел является **сила**. Если тело спортсмена приобретает ускорение, значит, на него действует сила со стороны другого тела – опоры, снаряда, воды, воздуха или соперника.

Количественная связь между силой и ускорением устанавливается **вторым законом Ньютона**: ускорение тела прямо пропорционально действующей на него силе и обратно пропорционально его массе. **Масса тела** является мерой его инертности, то есть способности сопротивляться изменению скорости. Поэтому одна и та же сила вызывает разное ускорение у тел разной массы. Например, при толчке соперника в борьбе более легкий спортсмен приобретает большее ускорение, чем более тяжелый, если действующая сила одинакова.

Важно отметить, что сила и ускорение являются **векторными величинами** и совпадают по направлению.

Третий закон Ньютона описывает характер взаимодействия тел. Согласно нему, при взаимодействии двух тел силы действия и противодействия равны по величине и противоположны по направлению.

Так, при толкании ядра спортсмен действует на снаряд с определенной силой, но одновременно такая же сила действует на его кисть и тело (рис. 12). Если спортсмен не создаст дополнительного взаимодействия с опорой, он может потерять равновесие и выйти за пределы сектора. Если на тело одновременно действует несколько сил, то в динамике используется их **равнодействующая**, определяющая характер движения тела.

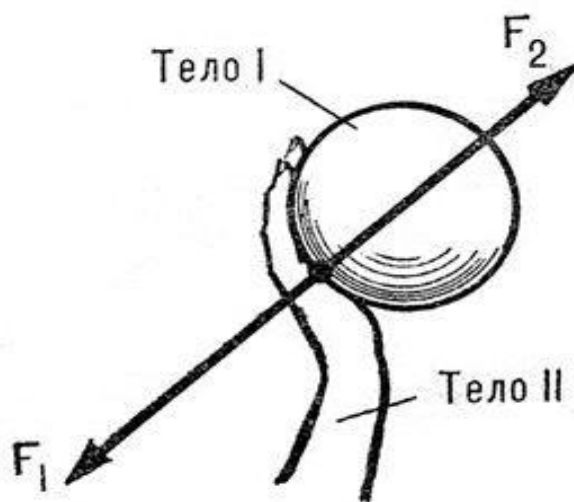


Рисунок 12 – Проявление третьего закона Ньютона в биомеханике
(В.А. Петров, Ю.А. Гагин)

При вращательном движении все точки тела поворачиваются на одинаковый угол, но движутся по окружностям разного радиуса. В биомеханике вращательные движения характерны для работы звеньев тела в суставах, а также для пространственных движений в гимнастике, акробатике и борьбе.

Законы динамики справедливы и для вращательного движения, однако в этом случае используются **аналогичные, но специальные понятия**. Так, «сила» заменяется на «момент силы», «ускорение» – на «угловое ускорение», а «масса» – на «момент инерции».

Момент силы характеризует вращающее действие силы и зависит не только от ее величины, но и от **плеча силы**, то есть расстояния от оси вращения до линии действия силы. Например, при выполнении большого оборота на перекладине тело спортсмена вращается под действием силы тяжести (рис. 13). Величина вращающего действия силы изменяется в зависимости от положения тела относительно оси вращения: она минимальна в верхнем и нижнем положениях и максимальна при горизонтальном положении тела.

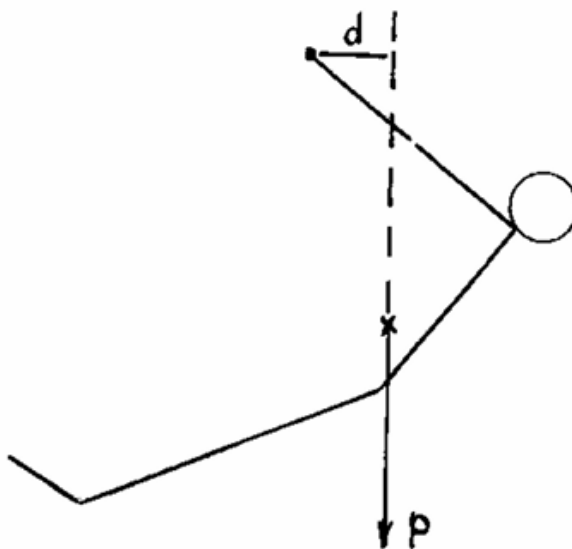


Рисунок 13 – Момент силы тяжести при выполнении большого оборота на перекладине (Н.Б. Сотский, 2023)

Момент силы является **векторной величиной**, направление которого определяется по правилу буравчика. Для плоских движений удобно считать момент силы положительным, если он стремится повернуть тело против часовой стрелки.

Согласно **второму закону динамики вращательного движения**, угловое ускорение тела прямо пропорционально моменту силы и обратно пропорционально **моменту инерции**.

Момент инерции является мерой инертности тела при вращении и зависит от распределения массы относительно оси вращения. Чем дальше масса расположена от оси, тем больше момент инерции и тем труднее изменить угловую скорость вращения.

В спортивной практике это имеет большое значение. Например, в борьбе защищающийся спортсмен, изменяя позу и увеличивая момент инерции своего тела, может существенно снизить угловую скорость, сообщаемую ему атакующим соперником. Аналогичные закономерности наблюдаются и в метании молота: увеличение радиуса вращения может способствовать росту линейной скорости снаряда, но одновременно приводит к резкому увеличению момента инерции, что затрудняет его разгон.

Таким образом, динамика позволяет понять, как силы и их моменты формируют движение спортсмена, а также какие механические условия необходимо учитывать для повышения эффективности и безопасности выполнения спортивных упражнений.

2. Динамические характеристики поступательного движения

В предыдущем вопросе рассмотрены основные динамические понятия – сила, масса тела, момент силы и инерции, законы Ньютона. Однако для анализа реальных спортивных движений часто бывает недостаточно оперировать только мгновенными

значениями силы и ускорения. В практике биомеханики широко используются **интегральные динамические характеристики**, позволяющие описывать движение за конечный промежуток времени.

При поступательном движении второй закон Ньютона может быть записан не только в дифференциальной, но и в интегральной форме, которая связывает изменение скорости тела с действием силы за определенное время. В таком виде закон Ньютона приводит к введению важнейшей динамической характеристики – **количества движения** или **импульса**. Количество движения определяется произведением массы тела на его скорость и характеризует **способность тела передавать движение другим телам**.

В спортивной деятельности этот параметр имеет принципиальное значение в контактных и ударных видах спорта. Например, в хоккее способность игрока прорваться через силовое сопротивление соперника определяется не только его скоростью, но и массой тела; в боксе и единоборствах сила удара зависит от количества движения руки и всего тела; в волейболе и гандболе скорость и «жесткость» удара по мячу также связаны с количеством движения.

Важно подчеркнуть, что «пробивная сила» движения зависит в равной степени и от скорости, и от массы, а не только от одного из этих факторов.

Произведение силы на время ее действия называется **импульсом силы**. Согласно интегральной форме второго закона Ньютона, **изменение количества движения тела равно импульсу силы**, сообщенному телу за рассматриваемый промежуток времени.

В наглядной форме импульс силы может быть представлен как **площадь под графиком зависимости силы от времени** (рис. 14). Это особенно удобно при анализе движений, в которых сила изменяется во времени. Например, при отталкивании в прыжках, при стартовых действиях в беге, при ударах и толчках. Зная импульс силы, можно определять такие важные параметры, как скорость, приобретаемая спортсменом, или высоту подъема общего центра тяжести.

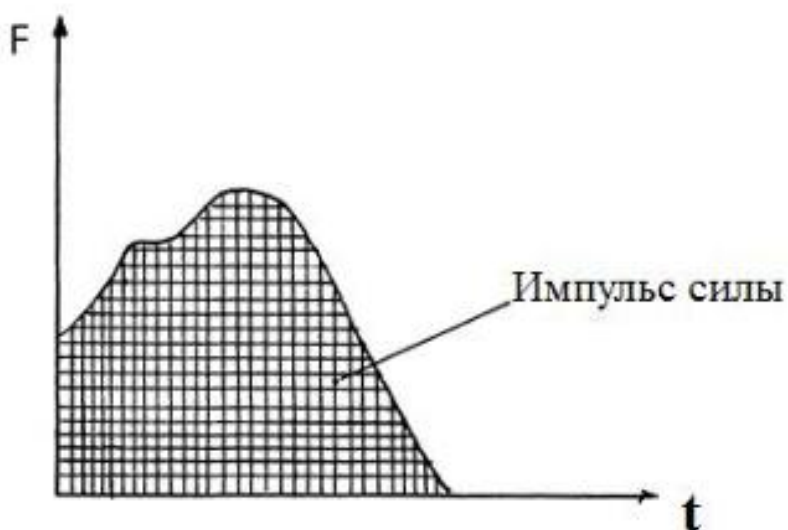


Рисунок 14 – Импульс силы (Н.Б. Сотский, 2023)

В современных биомеханических исследованиях импульс силы часто определяется с помощью **динамометрических платформ**, регистрирующих опорные реакции при отталкивании или приземлении (рис. 15). Это позволяет получать необходимые данные автоматически и с высокой точностью.

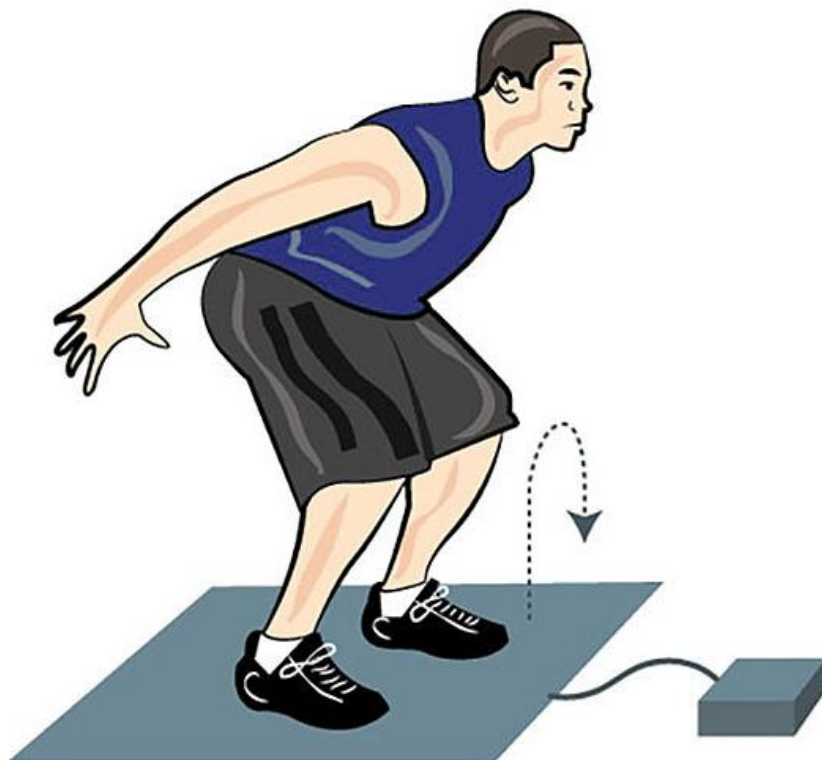


Рисунок 15 – Использование динамометрической платформы

Поскольку сила, ускорение и количество движения являются векторными величинами, второй закон Ньютона может быть записан в виде проекций на оси координат. При этом движение по каждой оси происходит независимо от движения по другим осям.

Ярким примером является прыжок в длину. При его выполнении после отрыва спортсмена от опоры (мы не учитываем сопротивление воздуха) сила действует только по вертикали (сила тяжести). В горизонтальном направлении движение происходит с постоянной скоростью. В сумме оба движения обеспечивают параболическую траекторию перемещения ОЦТ. Сочетание этих двух независимых движений приводит к **параболической траектории перемещения общего центра тяжести**.

Реальные спортивные движения редко сводятся к перемещению тела как абсолютно жесткого объекта. Обычно тело спортсмена изменяет свою позу, а его звенья движутся относительно друг друга. В таких случаях тело рассматривается как **система связанных тел**. Применение законов динамики к такой системе показывает, что внутренние силы взаимодействия между звеньями не влияют на движение системы в целом. Ускорение системы определяется только **внешними силами**, действующими на нее.

Для описания поступательного движения системы вводится понятие **общего центра масс**. Ускорение этой точки определяется суммарной внешней силой, действующей на систему, и не зависит от внутренних движений звеньев тела.

В спортивной практике это означает следующее: никакие движения рук, ног или туловища не могут изменить траекторию общего центра тяжести спортсмена в безопорной фазе; после отрыва в прыжке в длину или высоту спортсмен не может «подтянуть» себя выше за счет движений тела – они служат лишь для подготовки к приземлению; во время полета ядра или молота траектория центра масс снаряда определяется только внешними силами.

Понятия **общего центра масс** и **общего центра тяжести** в условиях земного притяжения практически совпадают, поэтому в биомеханике спорта эти термины часто используются как **равнозначные**.

Если сумма внешних сил, действующих на систему, равна нулю, то суммарное количество движения системы остается **постоянным**. Это положение известно, как **закон сохранения количества движения**. Закон может выполняться по всем направлениям одновременно либо по отдельным осям координат, если по этим направлениям отсутствуют внешние силы. Например, при полете ядра в горизонтальных направлениях количество движения сохраняется, а в вертикальном направлении оно изменяется под действием силы тяжести. Закон сохранения количества движения широко используется при анализе стартовых взаимодействий, столкновений спортсменов, ударных движений, взаимодействия спортсмена со спортивным снарядом.

3. Динамические характеристики вращательного движения

Во многих спортивных упражнениях движение спортсмена или спортивного снаряда носит вращательный или криволинейный характер. К таким движениям относятся бег по виражу, маховые движения конечностей, вращения в гимнастике и акробатике, метания, удары, сальто, повороты тела в прыжках. Для их анализа используются динамические характеристики **вращательного движения**.

Криволинейное движение возникает в том случае, когда сила, действующая на тело, направлена под углом к вектору скорости. В этом случае силу удобно разложить на две составляющие: **нормальную (центростремительную)** – направленную перпендикулярно скорости; **тангенциальную** – направленную вдоль скорости (рис. 16). Нормальная составляющая силы изменяет **направление движения**, но не влияет на величину скорости. Именно она обеспечивает вращение тела или движение по окружности. Тангенциальная составляющая, наоборот, изменяет **величину скорости**, не влияя на ее направление.

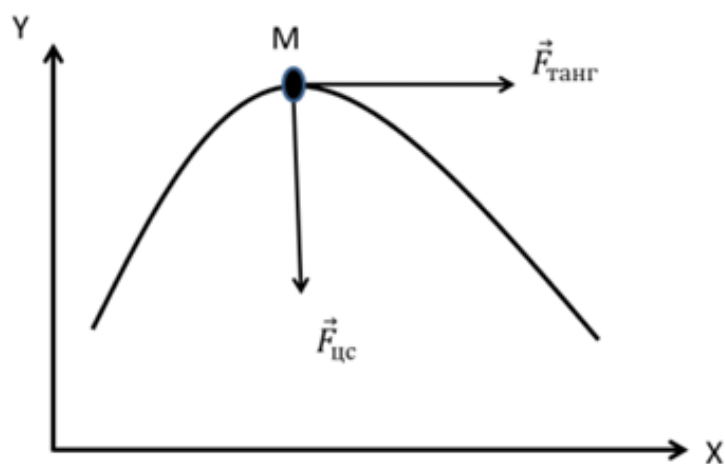


Рисунок 16 – Тангенциальная и нормальная составляющие силы, действующей на материальную точку М (Н.Б. Сотский, 2023)

При беге по виражу легкоатлет испытывает действие центростремительной силы, направленной к центру окружности. Благодаря этой силе спортсмен может менять направление движения и не «вылетать» с дорожки. При ускорении на выходе из виража дополнительно возрастает тангенциальная составляющая силы.

Нормальная составляющая силы часто называется **центростремительной**, так как она направлена к центру вращения. Эта сила всегда возникает в результате взаимодействия с другим телом (опорой, тросом, поверхностью).

В соответствии с третьим законом Ньютона, центростремительной силе всегда соответствует сила противодействия – **центробежная сила**, которая действует со стороны вращающегося тела на связь. При метании молота спортсмен прикладывает центростремительную силу, удерживая молот на траектории вращения. В ответ молот действует на трос, сильно его натягивая. Эта сила, направленная от центра вращения, и является центробежной (рис. 17).

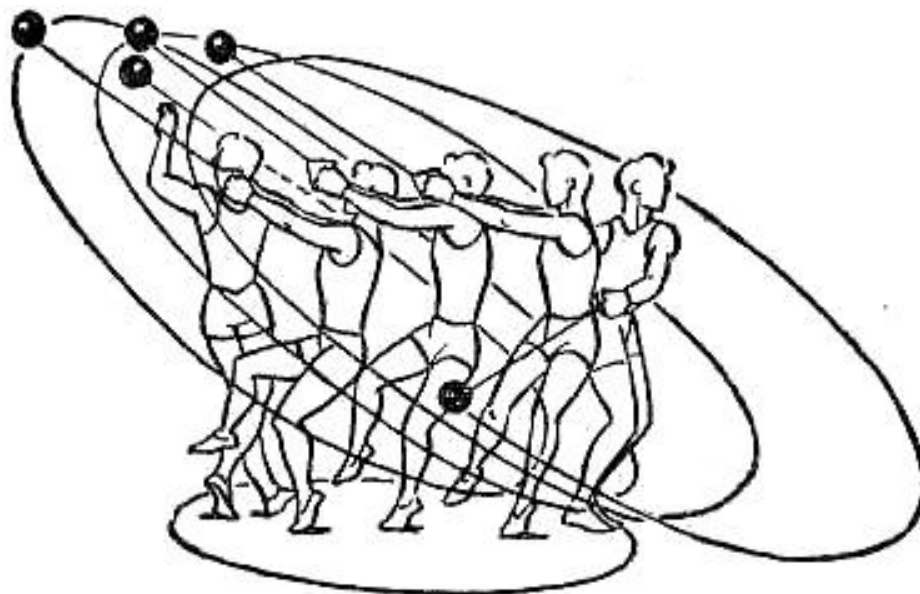


Рисунок 17 – Метание молота как пример действия центробежной и центростремительной сил

Численно силы, действующие при вращательном движении, определяются в соответствии с описанными ранее законами динамики. Так, центростремительная сила определяется как произведение массы на центростремительное ускорение: $F_{цс} = mV^2 / r$, (где m – масса объекта; V – скорость; r – радиус вращения. Из формулы видно, что увеличение скорости или радиуса вращения резко повышает нагрузку на спортсмена.

Для анализа вращательных движений используется понятие **момента силы**. Момент силы показывает способность силы вызывать вращение тела относительно оси и зависит не только от величины силы, но и от плеча ее действия.

Произведение $\Delta(J\omega) = M * \Delta t$ (M – момент силы, Δt – промежуток времени) называется **кинетическим моментом** (моментом количества движения). Он характеризует способность вращающегося тела передавать вращательное движение другим телам. Чем больше кинетический момент тела гимнаста при выполнении оборота на перекладине, тем устойчивее и «мощнее» выглядит движение.

При сложных движениях тело спортсмена одновременно перемещается в пространстве (движение общего центра масс) и вращается относительно собственного центра масс. В этом случае полный кинетический момент тела складывается из двух частей: кинетического момента вращения относительно общего центра масс и кинетического момента, связанного с движением самого общего центра масс.

При выполнении соскока с перекладины в ситуации, изображенной на рис. 18, кинетический момент центра тяжести относительно оси, проходящей через точку

контакта с опорой, и кинетический момент вращения тела относительно центра тяжести имеют противоположные знаки. В последнем случае возможен вариант, когда полный кинетический момент тела относительно точки контакта с опорой равен нулю.

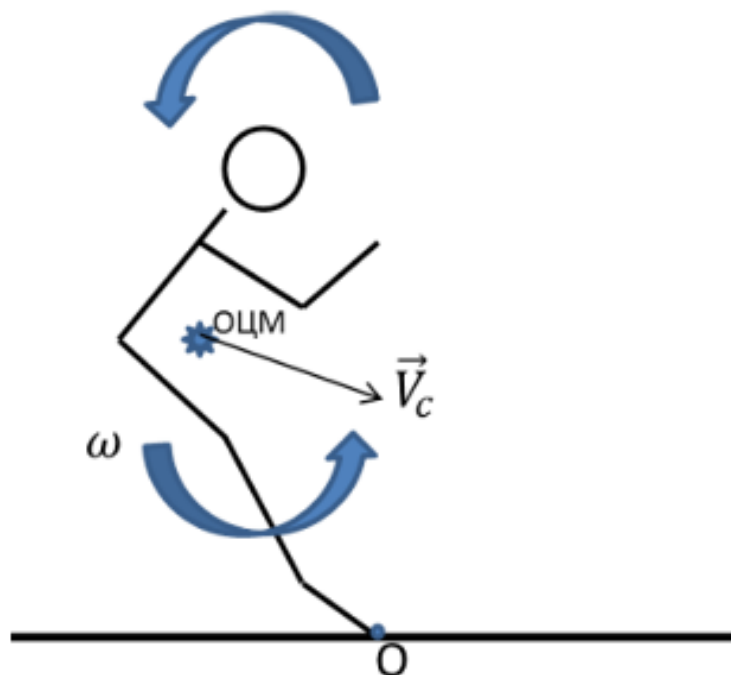


Рисунок 18 – Ситуация, при которой кинетические моменты общего центра тяжести и относительно него имеют противоположные знаки (Н.Б. Сотский, 2023)

В случаях, если моменты внешних сил на тело не действуют или когда их векторная сумма равняется нулю, кинетический момент системы сохраняется постоянным. В такой ситуации говорят, что действует **закон сохранения кинетического момента** (момента количества движения). Сохранение кинетического момента может наблюдаться как для всех направлений, соответствующих осям координат, так и в направлении двух или даже одной оси.

Закон сохранения кинетического момента позволяет объяснить такое явление, как изменение скорости тела спортсмена во время вращательного движения. Например, при выполнении сальто в акробатике, гимнастике, прыжках в воду спортсмен в безопорном положении всегда группируется, приближая звенья к оси вращения. Это позволяет ему увеличить скорость вращения. В результате момент инерции уменьшается, а угловая скорость возрастает. При отсутствии группировки происходит обратный процесс.

Закон сохранения кинетического момента действует и в том случае, если начальное вращение отсутствует. Находясь в безопорном состоянии, спортсмен, изменяя свою позу, может заставить некоторые звенья тела вращаться в определенном направлении. Характерным примером такого движения может быть круговое вращение руками при выполнении безопорной фазы прыжка на батуте. Указанное вращение создает некоторый кинетический момент. Однако, следуя закону сохранения, полный кинетический момент тела в течение всего времени должен оставаться равным нулю. Поэтому одновременно с указанным вращением все тело спортсмена начнет поворачиваться в противоположном направлении. Соотношение величин поворота вращаемых звеньев и всего тела в данном случае зависит от соотношения их инерционных характеристик. Максимальный поворот будет достигаться при приближении указанного соотношения к 50 %.

Использование аналогичного механизма изменения ориентации тела в беспорном состоянии часто используется при осуществлении неопытным спортсменом прыжка в воду с вышки без выполнения оборотов («солдатиком»). Здесь при отталкивании, как правило, никогда не получается падения тела вниз совершенно без вращения, т. е. с сохранением ориентации продольной оси. Предположим, что спортсмен оттолкнулся от опоры и почувствовал, что его тело поворачивается назад по часовой стрелке (рис. 19). Если он ничего не предпримет, то очевидно, что при входе в воду он может удариться спиной. Для того чтобы избежать этого, ему следует выполнить одно-два круговых движения руками в плечевых суставах в направлении по часовой стрелке. В результате чего произойдет компенсирующий поворот тела как целого по часовой стрелке, позволяющий избежать падения.

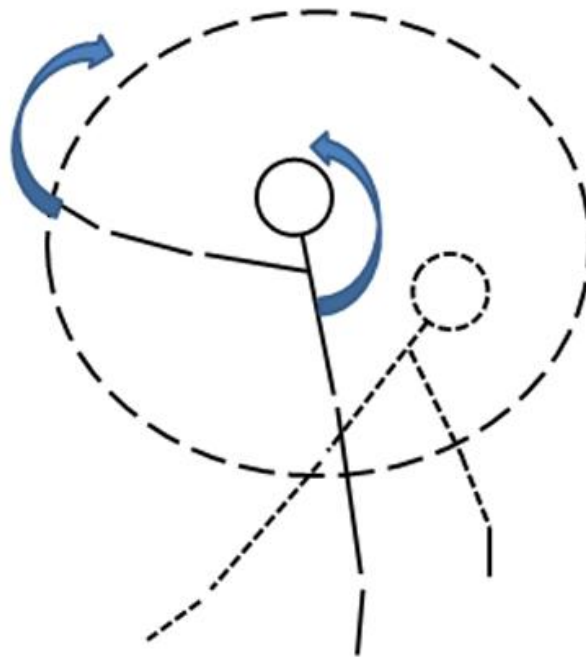


Рисунок 19 – Поворот тела спортсмена в беспорном состоянии при отсутствии первоначального вращения (Н.Б. Сотский, 2023)

Аналогичный механизм наблюдается при повороте кошки в воздухе, которая, не имея опоры, все же изменяет ориентацию тела и приземляется на лапы. Так, для выполнения поворота тела в пространстве относительно собственной продольной оси кошка сгибается в середине тела и производит однонаправленные конусообразные вращения обеих половин тела в одном направлении (движение типа циркумдукция). В связи с тем, что полный кинетический момент должен оставаться равным нулю, все тело животного как целое одновременно поворачивается в противоположном направлении.

Лекция. Силы при выполнении двигательных действий и их энергетические характеристики

1. Силы внешние относительно тела человека при выполнении двигательных действий
2. Силы внутренние при выполнении двигательных действий
3. Энергетические характеристики двигательных действий

Выполнение любых двигательных действий в спорте связано с действием сил и затратами энергии. Бег, прыжки, метания, удары, удержание позы – все эти движения возникают и изменяются под действием внешних и внутренних сил, а их реализация требует определенных энергетических ресурсов организма.

В предыдущих лекциях были рассмотрены кинематические и динамические характеристики движений, позволяющие описывать, **как** движется тело спортсмена и **почему** изменяется его движение. Следующим шагом является анализ тех сил, которые непосредственно обеспечивают выполнение двигательных действий, а также энергетических характеристик, отражающих «цену» этих движений для организма.

1. Силы внешние относительно тела человека при выполнении двигательных действий

Любое двигательное действие человека осуществляется благодаря действию сил. Эти силы возникают как при **взаимодействии звеньев тела между собой**, так и при **взаимодействии тела спортсмена с внешней средой**: опорой, воздухом, водой, спортивными снарядами и тренажерами. Понимание природы и роли этих сил позволяет объяснить технику движений, причины их эффективности и ограничения спортивных результатов.

Сила тяжести – это постоянная сила, действующая на тело спортсмена в результате гравитационного взаимодействия. Она всегда направлена вертикально вниз и приложена в общем центре тяжести тела (рис. 20).

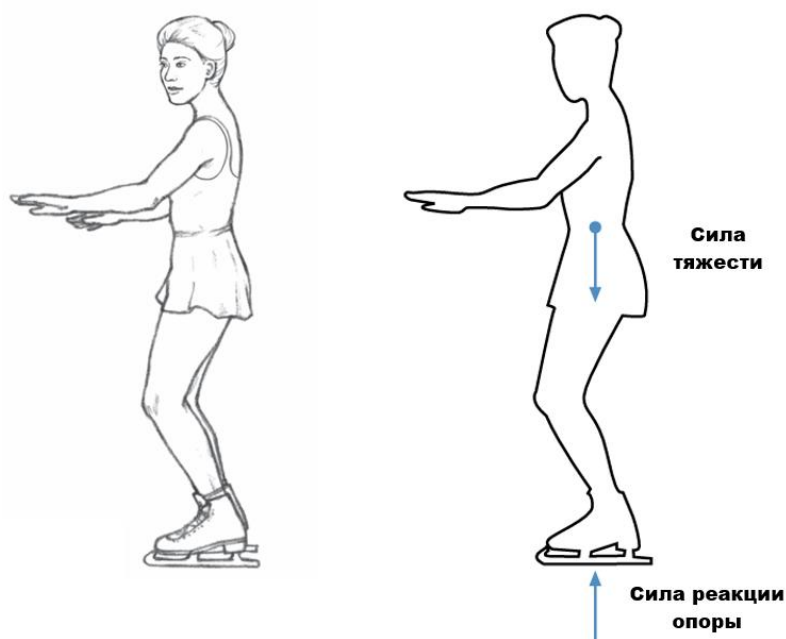


Рисунок 20 – Реакция опоры и сила тяжести фигуристки (Peter M. McGinnis, 2013)

Сила тяжести определяет необходимость мышечных усилий при удержании позы, выполнении прыжков, беге, приседаниях и подъеме отягощений. В спортивной практике влияние силы тяжести особенно заметно: при прыжках (необходимость преодолеть действие силы тяжести при отталкивании), при приземлениях (увеличение нагрузки на опорно-двигательный аппарат), в тяжелой атлетике, где спортсмен постоянно работает против силы тяжести снаряда.

Сила реакции опоры возникает при контакте тела спортсмена с поверхностью и действует со стороны опоры на тело. Она играет ключевую роль в ходьбе, беге, прыжках, стартах и торможениях.

Важно понимать, что **вес тела и сила тяжести – не одно и то же**, они могут быть равно только при отсутствии вертикального ускорения. Вес может быть как больше, так и меньше силы тяжести. Все зависит от величины и направления ускорения общего центра масс. Так, если оно направлено вниз, сила реакции опоры R становится меньше силы тяжести. Причем, при достижении ускорения, равного ускорению свободного падения, сила R вообще становится равной нулю. Например, если задаться вопросом, насколько быстро человек может присесть, то максимально возможное ускорение его тела не сможет превышать ускорение свободного падения g , при достижении которого давление на опору вообще прекращается.

Влияние **силы реакции опоры** можно проследить при выполнении прыжка вверх из полуприседа. В фазе быстрого приседания перед отталкиванием общий центр масс спортсмена ускоряется вниз, поэтому сила реакции опоры становится меньше силы тяжести – давление на опору уменьшается. Затем, в момент активного отталкивания, спортсмен резко разгибает ноги в тазобедренных, коленных и голеностопных суставах. Общий центр масс начинает ускоряться вверх, и сила реакции опоры значительно превышает силу тяжести, что позволяет телу получить необходимую скорость для отрыва от опоры. В момент отрыва ног от поверхности контакт с опорой исчезает, поэтому сила реакции опоры становится равной нулю, а дальнейшее движение тела происходит только под действием силы тяжести. Таким образом, величина силы реакции опоры на разных фазах прыжка напрямую связана с направлением и величиной ускорения общего центра масс спортсмена.

Сила трения возникает при взаимодействии поверхностей и может быть как способствующей лучшему результату, так и препятствующей. Различают три вида трения (рис. 21): **трение покоя** – при отсутствии относительного движения (бег, старт, толчок), **трение скольжения** – при движении поверхностей относительно друг друга (лыжи, санки, скольжение мяча), **трение качения** – при перекатывании (мяч, колеса).



Рисунок 21 – Виды силы трения

В спортивной деятельности сила трения необходима для отталкивания при беге и прыжках, возможности плавания, а также для резких остановок и смены направления в игровых видах спорта. В то же время другой во время соревнований по лыжному спорту, прыжкам с трамплина на лыжах, по санному спорту, бобслею, скоростному спуску первой задачей, обеспечивающей высокий спортивный результат, является уменьшение величины трения. Здесь это достигается подбором соответствующих материалов для лыж и санных полозьев или обеспечением соответствующей смазки.

Силы сопротивления окружающей среды. При движении в воздухе или воде на тело спортсмена действует сила сопротивления среды. Она возрастает с увеличением скорости движения и зависит от формы тела и его ориентации.

Сила, действующая со стороны налетающего на движущееся тело потока, может быть представлена состоящей из двух слагаемых: **силы лобового сопротивления**, направленной в сторону, противоположную движению тела, и **подъемной силы**, действующей перпендикулярно направлению движения. При выполнении спортивных движений силы сопротивления зависят от плотности среды ρ , скорости тела V относительно среды, площади тела S , перпендикулярной налетающему потоку среды, и коэффициента C , зависящего от формы тела.

Сила лобового сопротивления зависит от скорости движения в большей степени, чем от остальных параметров. Так, при увеличении скорости движения тела в два раза сила сопротивления возрастает в четыре раза, в то время как при аналогичном увеличении площади изменение сопротивления происходит только в два раза.

Коэффициент C зависит от так называемой «обтекаемости» тела. Наиболее высокое его значение наблюдается у плоского тела, расположенного перпендикулярно налетающему потоку. Если тело имеет форму сферы, площадь и скорость которой совпадают с аналогичными характеристиками указанного тела, его сопротивление потоку среды снижается приблизительно на 60 %, а в случае каплеобразной формы – в десятки раз (рис. 22).

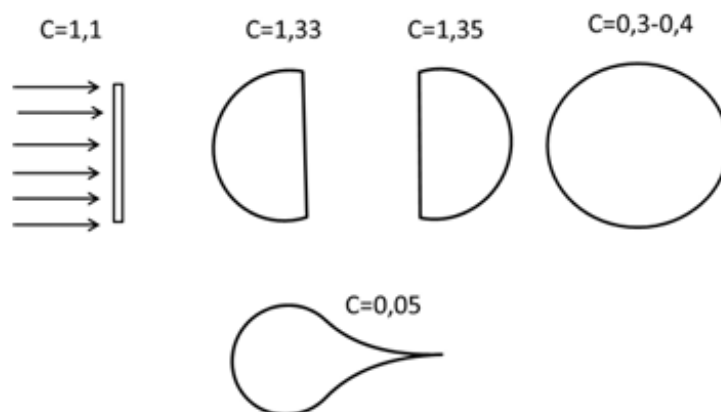


Рисунок 22 – Влияние обтекаемости на величину силы лобового сопротивления (Н.Б. Сотский, 2023)

Характер действия силы лобового сопротивления наглядно проявляется в горнолыжном спорте. Если лыжник во время движения выпрямляется и поднимает руки, площадь тела S , перпендикулярная потоку воздуха, резко возрастает. При этом увеличивается и сила лобового сопротивления, что приводит к заметному снижению скорости. Напротив, при переходе в более низкую стойку спортсмен уменьшает площадь и

улучшает обтекаемость формы тела, снижая коэффициент C , вследствие чего сопротивление воздуха существенно уменьшается и скорость возрастает.

При увеличении скорости спуска в два раза сила сопротивления возрастает примерно в четыре раза, поэтому на высоких скоростях даже небольшое изменение позы тела оказывает значительное влияние на результат. Аналогичные принципы используются и в **велоспорте**, где аэродинамическая посадка и специальная форма шлема позволяют снизить сопротивление воздуха и повысить эффективность движения.

Подъемная сила возникает при движении несимметричного тела, или в случае расположения плоскости симметрии движущегося тела под углом к скорости потока (рис. 23). Величина подъемной силы зависит от угла атаки, образованного осью симметрии тела и вектором скорости налетающего потока.

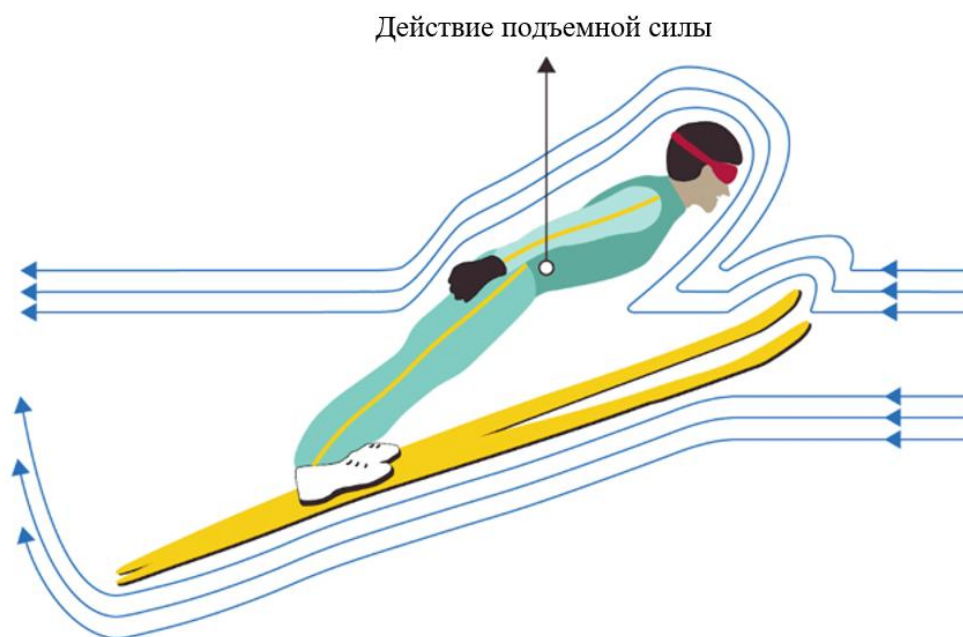


Рисунок 23 – Иллюстрация действия подъемной силы

Иногда для достижения высокого спортивного результата приходится управлять сопротивлением движению. Так, если проследить изменение техники прыжков с трамплина на лыжах, то видно, что в настоящее время спортсмены используют так называемое V-образное расположение лыж (рис. 23). Переход к V-образному расположению лыж обусловил выход поверхности последних за проекцию тела и увеличение площади, взаимодействующей с налетающим потоком. В результате сила сопротивления увеличивается и полет лыжника становится более продолжительным по времени, одновременно при оптимальной позе возрастает и подъемная сила, что приводит к увеличению результата.

Интересно, что в некоторых видах спорта силы сопротивления являются одновременно и движущими, и препятствующими движению. Это относится к плаванию, ко всем видам гребли. Здесь принцип движения основан на более высоком сопротивлении, действующем на гребущую конечность или весло в направлении движения спортсмена или лодки, чем на тело или лодку в противоположном направлении. Поэтому, например, лодка делается максимально обтекаемой формы, а весло, наоборот, имеет форму, обеспечивающую максимальное сопротивление его продвижению.

Выталкивающая сила (сила Архимеда). Данная сила возникает при погружении тела в жидкую или газообразную среду и направлена вертикально вверх.

Выталкивающая сила зависит от величины объема V тела или его части, погруженных в воздух, воду или любую другую жидкую или газообразную среду, плотности самой среды ρ и ускорения свободного падения g .

Величина выталкивающей силы имеет значимы при нахождении тела в воде или другой жидкости. Для воздушной среды, в связи с незначительной плотностью воздуха, выталкивающая сила, действующая на тело человека, имеет незначительную величину. Выталкивающая сила приложена в точке, называемой центром объема тела. Эта точка может не совпадать с общим центром тяжести тела, в связи с чем тело, погруженное, например, в воду, при неизменной позе может стремиться повернуться так, чтобы сила тяжести и выталкивающая сила оказались на одной линии (рис. 24).



Рисунок 24 – Взаимодействие силы тяжести и выталкивающей силы

Если выталкивающая сила больше силы тяжести, тело будет находится на поверхности воды, а если меньше, то будет тонуть. Например, в плавании спортсмен за счет горизонтального положения тела и увеличения объема вытесняемой воды (рис. 24) может поддерживать устойчивое положение на поверхности без активных движений, тогда как при вертикальном положении тела или при расслаблении мышц ноги и туловище начинают опускаться вниз. Аналогичные закономерности учитываются и в синхронном плавании, где управление положением тела относительно поверхности воды во многом основано на соотношении силы тяжести и выталкивающей силы.

Силы упругости возникают при деформации тел, стремящихся восстановить исходную форму. Данные силы позволяют **накапливать и возвращать механическую энергию**, повышая эффективность движения.

Коэффициент упругости зависит от материала, из которого выполнен деформируемый предмет, а также от его размеров. Например, для жгутов, выполненных из одинакового материала, этот коэффициент будет зависеть от их толщины, возрастая по мере ее увеличения. Если же взять одинаковые по толщине жгуты из резины и из стали, то последний будет значительно труднее деформировать. В данном случае определяющими являются свойства вещества, из которого состоят данные тела. Так, например, в легкой атлетике при прыжке с шестом эффективность отталкивания во многом зависит от упругих свойств шеста: более жесткий шест труднее деформировать, но он способен вернуть спортсмену больше механической энергии, тогда как более мягкий шест легче прогибается, однако обеспечивает меньший вклад в высоту прыжка.

Силы инерции проявляются при рассмотрении движения в ускоренных или вращающихся системах отсчета и имеют особое значение в биомеханике суставных движений. То есть, для возникновения сил инерции система координат должна двигаться как угодно, но только не равномерно-прямолинейно.

Например, человек находится в равномерно движущемся вагоне. Пока движение равномерно, ему нет необходимости держаться за поручни, он может вести себя так, как и в неподвижном вагоне. Если вагон резко затормозит, на человека начинает действовать сила в направлении первоначального движения вагона. Если человек не схватится за поручни, он может упасть. Известно, что данная сила тем больше, чем более резким является замедление. То есть, действующая в описанной ситуации сила прямо пропорционально зависит от ускорения, которое испытывает в данном случае вагон. Другим параметром, определяющим величину силы, является масса тела. Чем она больше, тем большая сила действует на человека в рассматриваемой ситуации. В данном примере **сила инерции** проявляется как стремление тела человека сохранить прежнюю скорость движения относительно земли, что в системе отсчета, связанной с вагоном, воспринимается как действие силы, направленной вперед по ходу движения.

Учет **сил инерции** имеет важное значение, особенно при анализе суставных движений. При движении биокинематических цепей каждое звено оказывается в системе координат, связанной с предыдущим, поэтому при их ускоренном движении или вращении на звеньях действуют силы инерции, требующие дополнительной работы мышц. В то же время силы инерции могут и разгружать мышцы, если они направлены в сторону, совпадающую с требуемым движением. Так, в упражнении «рывок» при разгоне штанги на кисти действует не только сила тяжести, но и сила инерции системы «кисти – штанга», увеличивая нагрузку на руки. В следующей фазе эти же силы инерции способствуют разгрузке мышц ног, позволяя спортсмену подсесть под снаряд и зафиксировать его над головой.



Рисунок 25 – Пример действия силы инерции при броске движения в гандболе

Примером проявления **сил инерции** является также выполнение броскового движения в спорте (рис. 25). Во время разгона руки спортсмен прикладывает мышечную силу к мячу, стремясь быстро увеличить его скорость. Однако мяч, обладая массой,

сопротивляется изменению своего состояния движения, что является проявлением инерции. В системе отсчета, связанной с движущейся рукой, это сопротивление воспринимается как инерционная сила, направленная противоположно ускорению руки. Для преодоления инерции снаряда спортсмену необходимо развивать значительные мышечные усилия в плечевом, локтевом и лучезапястном суставах. После вылета мяча действие сил инерции прекращается, и движение мяча определяется скоростью, приобретенной на этапе разгона.

Таким образом, внешние силы, действующие на тело человека при выполнении двигательных действий, во многом определяют характер, эффективность и результативность спортивных движений. Сила тяжести, реакция опоры, силы трения, сопротивления среды, выталкивающая сила, силы упругости и инерции постоянно взаимодействуют между собой и с движениями спортсмена, либо способствуя их выполнению, либо ограничивая их. Понимание закономерностей действия этих сил позволяет объяснить особенности техники движений, рационально выбирать позу и траекторию, управлять скоростью и направлением движения, снижать излишние нагрузки на опорно-двигательный аппарат.

2. Силы внутренние при выполнении двигательных действий

После анализа внешних сил рассмотрим **внутренние силы** относительно тела человека при выполнении двигательных действий. Эти силы возникают внутри биомеханической системы организма и определяют активное управление движениями, формирование поз и согласованную работу отдельных звеньев тела.

Внутренние силы – это силы, возникающие внутри тела человека в результате взаимодействия его частей между собой: костей, мышц, сухожилий, связок и других тканей. В отличие от внешних сил, которые действуют на тело со стороны окружающей среды, внутренние силы не изменяют движение всего тела в пространстве, но определяют характер движений звеньев тела, позу и технику выполнения упражнений.

В теле человека внутренние силы могут действовать как **статически**, вызывая напряжение тканей без видимого движения (например, удержание позы «планка»), так и **динамически**, приводя к перемещению звеньев и выполнению двигательных действий (бег, прыжки, броски, подъемы отягощений).

Все внутренние силы условно делят на **активные** и **пассивные**.

Главной активной внутренней силой является **сила мышечной тяги**, которую правильнее называть мышечным усилием. Стоит отметить, что мышечная сила не существует изолированно, а всегда проявляется во взаимодействии с внешними силами. Так, при беге, прыжках и стартах мышцы ног развивают силу, направленную на опору, в ответ на что возникает сила реакции опоры, обеспечивающая ускорение общего центра масс спортсмена. В игровых видах спорта мышечная сила используется для сообщения скорости мячу или снаряду, преодолевая при этом силы инерции и сопротивления окружающей среды. На рис. 26 показано действие **силы мышечной тяги** при удержании или подъеме отягощения посредством сгибания руки в локтевом суставе. Основной активной силой в данном случае является сила тяги двуглавой мышцы плеча, которая, сокращаясь, тянет предплечье вверх и создает вращающий момент относительно локтевого сустава. Противодействуют ей внешние силы – сила тяжести снаряда и сила предплечья, направленные вертикально вниз и стремящиеся разогнуть руку. Кроме того, в локтевом суставе возникает сила, с которой кости действуют друг на друга, обеспечивая передачу усилий и устойчивость сустава.

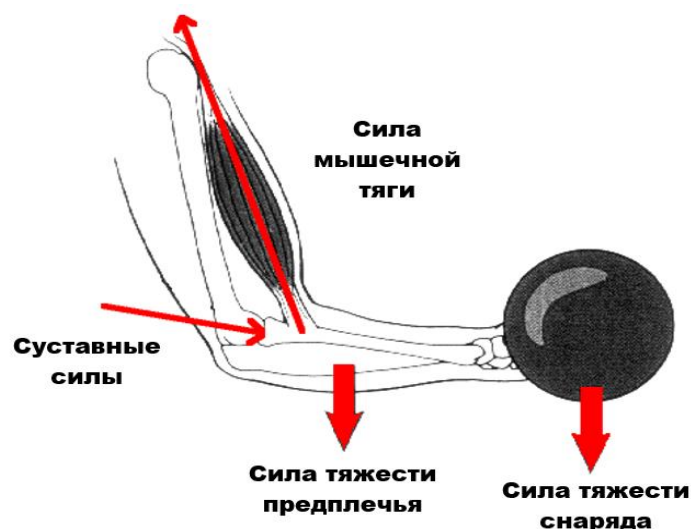


Рисунок 26 – Действие силы мышечной тяги при удержании или подъеме снаряда

Величина развиваемой мышечной силы зависит от ряда биомеханических факторов: угла в суставе, скорости движения, длины мышцы в момент сокращения, а также от условий внешнего сопротивления. Например, при приседании или прыжке из полуприседа изменение углов в тазобедренных, коленных и голеностопных суставах влияет на механические условия работы мышц и, следовательно, на эффективность создаваемого усилия.

Сила тяги мышц является центральным элементом двигательной деятельности спортсмена и выступает связующим звеном между внутренними возможностями организма и действием внешних сил. Эффективность спортивных движений во многом определяется не только величиной мышечной силы, но и умением рационально использовать ее во взаимодействии с силами внешней среды.

Пассивные внутренние силы не связаны напрямую с активной работой мышц, но постоянно сопровождают движения человека и существенно влияют на их эффективность. При наличии опоры звенья тела человека всегда своим весом действуют на удерживающие их соседние звенья. При ускорениях звеньев к статическому весу прибавляются (или вычитаются) силы инерции звеньев. Как противодействие статическому и динамическому весу имеются соответствующие реакции опоры. Вследствие упругих деформаций возникают упругие силы, преимущественно в мягких тканях. Имеются и силы трения, связанные со смещением органов и тканей в суставах, между мышцами, внутри мышц.

Силы инерции звеньев тела возникают при любом ускоренном движении звеньев, что проявляется в сопротивлении изменению скорости. Например, при резком взмахе руки в метании или броске мяч «отстает» от движения руки – это проявление инерции звена и снаряда. Чем больше масса звена и выше ускорение, тем больше инерционная сила.

Упругие силы возникают при растяжении мышц, сухожилий и связок. При торможении движения мышцы-антагонисты растягиваются, накапливая упругую энергию. В последующей фазе эта энергия может возвращаться в движение – явление, известное как **упругая отдача**. Примером является отталкивание в прыжке, когда предварительное приседание позволяет накопить упругую энергию в мышцах ног и повысить мощность отталкивания.

Силы реакции между звеньями проявляются в давлении звеньев друг на друга своим весом. Например, предплечье оказывает нагрузку на плечо в локтевом суставе, а бедро – на тазобедренный сустав при беге или прыжках.

Внутренние силы трения возникают при взаимном смещении тканей в суставах и мышцах. Как правило, эти силы играют негативную роль, но в нормальных физиологических условиях они минимальны и не ощущаются спортсменом.

Внутренние силы не только ограничивают движения, но при определенных условиях способствуют их выполнению. Особенно это проявляется при использовании инерционных и упругих сил, которые могут усиливать движение и снижать энергозатраты мышц.

Например, в тяжелой атлетике, при выполнении рывка, силы инерции штанги и упругая отдача мышц позволяют спортсмену эффективнее перейти из фазы разгона в фазу подседа. В спринтерском беге упругие свойства мышц и сухожилий способствуют быстрому и экономичному отталкиванию от опоры.

Таким образом, движения человека являются результатом совместного действия внешних и внутренних сил. Внешние силы задают условия и сопротивления, а внутренние силы, прежде всего мышечная тяга, обеспечивают активное управление движением. Совершенствование техники в спорте во многом сводится к умению рационально использовать внутренние силы и минимизировать действие вредных сопротивлений, что напрямую влияет на рост спортивных результатов.

3. Энергетические характеристики двигательных действий

Двигательные действия человека в спорте представляют собой сложное сочетание биомеханических, физиологических и энергетических процессов. Любое движение выполняется за счет мышечных сокращений, в основе которых лежат биохимические реакции, сопровождающиеся высвобождением энергии. Одновременно движение тела и его звеньев связано с преодолением сил сопротивления и трения, в результате чего часть энергии рассеивается в виде тепла. Таким образом, в процессе выполнения двигательных действий происходит постоянное преобразование энергии из одних форм в другие.

Количественную связь между особенностями макроскопических движений тела человека или отдельных его частей и микроскопическими процессами различной природы, происходящими внутри организма, отражают так называемые **энергетические характеристики**. К основным из них относятся **работа силы, мощность и энергия**.

Работой силы называется произведение силы на перемещение тела в направлении действия этой силы (рис. 27). Работа может быть **положительной, отрицательной** или равной нулю. Положительная работа совершается тогда, когда направление силы совпадает с направлением движения. Например, при толчке ядра спортсмен разгоняет снаряд, прикладывая силу в направлении его перемещения, тем самым выполняя положительную работу. Отрицательная работа имеет место при торможении движения. Так, при спуске на лыжах сила трения направлена противоположно движению лыжника и выполняет отрицательную работу, уменьшая его скорость.

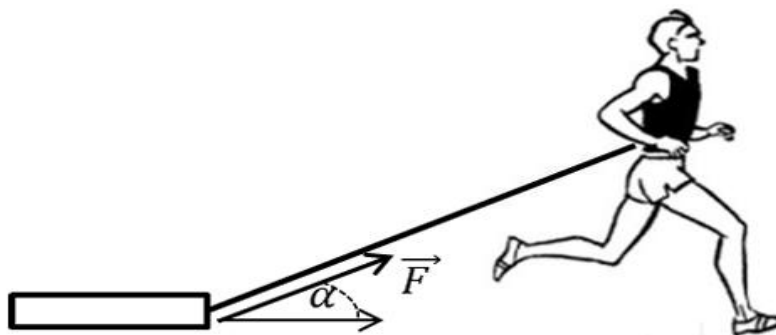


Рисунок 27 – Пример определения работы силы (Н.Б. Сотский, 2023)

Если сила направлена перпендикулярно перемещению, механическая работа не совершается. Примером может служить равномерное вращение тела, при котором центростремительная сила изменяет направление скорости, но не ее величину.

В спортивной практике важна не только величина выполненной работы, но и скорость ее выполнения. Для этого вводится понятие **мощности**, которая характеризует работу, выполненную в единицу времени. Данная характеристика рассчитывается по формуле: $N = \Delta A / \Delta t$, где ΔA – выполненная работа, а Δt – время ее выполнения. Например, подъем по лестнице на один и тот же этаж может сопровождаться одинаковой работой, но при быстром подъеме мощность будет значительно выше, чем при медленном. Аналогично, в спорте спринтер и стайер могут выполнять сходную по величине механическую работу, однако мощность движений у спринтера значительно выше.

По величине развиваемой мощности судят о направленности тренировочной нагрузки. Так, если мощность, затрачиваемая спортсменом при выполнении упражнения, не превышает соответствующую максимальному потреблению кислорода, такая тренировка может быть направлена на развитие аэробных способностей спортсмена. При превышении указанной границы работа спортсмена переходит в зону использования анаэробных механизмов обеспечения движения, и тренировочное воздействие в соответствии с этим изменяет свой характер.

Эффективность выполнения движений оценивается с помощью **коэффициента полезного действия**, который показывает, какая часть затраченной энергии превращается в полезную механическую работу. Он определяется отношением работы полезной к выполненной и измеряется в процентах: $\text{КПД} = A_{\text{полезн.}} / A_{\text{выполнен.}} * 100 \%$

В спортивных движениях КПД обычно невысок и составляет около 20–30 %, поскольку значительная часть энергии теряется на преодоление трения, сопротивления среды и переходит во внутреннюю энергию (тепло). Повышение КПД достигается за счет рациональной техники движений, оптимального взаимодействия звеньев тела и использования упругих свойств мышц и спортивных снарядов.

В процессе выполнения механической работы происходит изменение свойств тел, перемещающихся под действием сил. Они могут изменять свою температуру и запасать выполненную в процессе их перемещения работу. Например, поднимая штангу над головой, атлет производит работу против силы тяжести, равную произведению данной силы на перемещение по вертикали. Если после этого поднятую штангу отпустить, то в процессе ее падения работу совершает сила тяжести, причем эта работа равна затраченной при подъеме снаряда и зависит от высоты этого подъема. Тело, поднятое на некоторую высоту, запасло в себе затраченную работу и при определенных обстоятельствах может ее вернуть, перемещая тело в обратном направлении. В описываемой ситуации тело обладает способностью совершить работу. Способность тела совершать работу называется **механической энергией**.

Механическая энергия существует в двух основных формах: потенциальной и кинетической. **Потенциальная энергия** связана с положением тела в поле силы тяжести или с его упругой деформацией. Например, поднятая над головой штанга обладает потенциальной энергией, величина которой зависит от ее массы и высоты подъема. Аналогично, согнутый прыжковый шест или растянутый резиновый амортизатор накапливают потенциальную энергию упругой деформации.

Способностью совершить работу обладает любое движущееся тело. Например, тело, подброшенное вертикально вверх, может в процессе подъема совершить определенную работу против силы тяжести; скользящая по льду шайба совершает работу против силы трения. Способность тела совершить работу благодаря имеющемуся движению называется **кинетической энергией**.

Примером взаимодействия данных видов энергии является подъем велосипедиста в гору, где его скорость уменьшается, а кинетическая энергия движения постепенно преобразуется в потенциальную (рис. 28). В верхней точке подъема потенциальная энергия максимальна, а кинетическая – минимальна. При спуске происходит обратный процесс: накопленная потенциальная энергия переходит в кинетическую, что приводит к увеличению скорости движения без дополнительной мышечной работы.



Рисунок 28 – Пример определения работы силы

В некоторых случаях, особенно при выполнении работы против сил трения или сопротивления, совершаемая работа не запасается ни в одной из рассмотренных форм энергии. В таком случае работа переходит в кинетическую энергию хаотического движения частиц, составляющих тело, и сопровождается повышением температуры последнего. Энергия частиц, составляющих тело, называется **внутренней энергией**. Расход работы на изменение внутренней энергии тела при движениях человека и животных является необратимым процессом.

Различные формы энергии в природе связаны **законом сохранения энергии**, согласно которому энергия не возникает и не исчезает, а переходит из одних видов в другие. В спорте это означает, что эффективность движения определяется тем, насколько рационально спортсмен способен использовать и перераспределять энергию. Например, в легкой атлетике использование упругого шеста позволяет накапливать и возвращать значительную часть механической энергии, благодаря чему результат прыжка с шестом, существенно превышает возможности прыжка без дополнительного упругого элемента.

Энергетические характеристики широко применяются при анализе техники движений, оценке физической работоспособности и дозировании тренировочных нагрузок. В тестах на велоэргометре выполняемая спортсменом механическая работа оценивается по силе сопротивления вращению педалей и пройденному точкой приложения указанной силы пути. Точность определения работы в данном случае может быть повышена учетом измерения кинетической энергии разгона звеньев тела, выполняющих при этом одновременно поступательные и вращательные движения.

Таким образом, понимание энергетических характеристик двигательных действий является необходимой основой для анализа спортивной техники, планирования тренировочного процесса и повышения спортивных результатов.

Лекция. Закономерности полета спортивных снарядов

1. Силы, действующие на спортивный снаряд
2. Сообщение движения спортивным снарядам

Во многих видах спорта результат напрямую связан с полетом спортивного снаряда – мяча, ядра, диска, копья и других объектов. Дальность броска, высота и форма траектории, точность попадания в цель определяются не только силой и техникой спортсмена, но и законами механики, которым подчиняется движение снаряда в пространстве.

Биомеханический анализ полета спортивных снарядов позволяет понять, какие факторы влияют на их движение после отрыва от руки или прекращения контакта с телом спортсмена, и каким образом можно управлять этими факторами для повышения спортивного результата. В данной лекции рассматриваются основные силы, действующие на спортивный снаряд в полете, а также способы сообщения движения снарядам в различных видах спорта.

1. Силы, действующие на спортивный снаряд

Полет любого спортивного снаряда определяется действием сил, которые продолжают влиять на него после отрыва от руки спортсмена или прекращения контакта с опорой. Понимание этих сил позволяет объяснить форму траектории полета, дальность, высоту и точность попадания снаряда, что имеет решающее значение во многих видах спорта.

Основной силой, действующей на спортивный снаряд во время полета, является **сила тяжести**. Она всегда направлена вертикально вниз и приложена к общему центру масс снаряда. Под действием силы тяжести скорость движения снаряда по вертикали уменьшается, а траектория приобретает характерную криволинейную форму. Именно сила тяжести является причиной того, что любой брошенный или ударенный снаряд рано или поздно падает на землю. В условиях, когда сопротивлением воздуха можно пренебречь, полет снаряда определяется только силой тяжести и начальными условиями вылета.

Закон движения снаряда в плоскости XOY , брошенного под углом к горизонту тела (рис. 29) определяется уравнениями динамики, учитывающими, что по вертикали действует сила тяжести, а по горизонтали внешних сил нет.

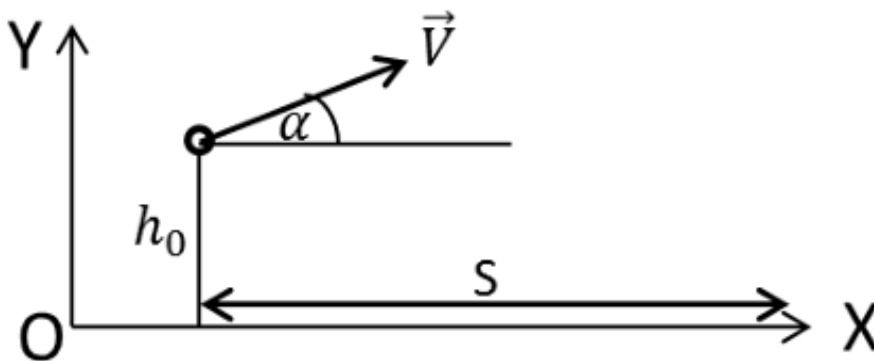


Рисунок 29 – Параметры, определяющие особенности полета спортивного снаряда (Н.Б. Сотский, 2023)

В соответствии с данными, представленными на рис. 29 дальность полета тела определяется **тремя параметрами**:

- значение скорости, сообщенной снаряду;
- угол вылета;
- высота точки вылета.

Наибольшее влияние на пролетаемое телом расстояние оказывает величина скорости вылета. Так, ее увеличение на 5 % по отношению к исходному значению 10 м/с при постоянных значениях остальных двух параметров (например, $\alpha = 45^\circ$ и $h_0 = 1$) вызывает соответствующее увеличение дальности полета приблизительно на 1 м (около 9 %). Оптимальным углом вылета спортивного снаряда при условии, что в момент вылета он расположен на поверхности земли ($h_0=0$), является угол $\alpha = 45^\circ$. При наличии исходной высоты он несколько уменьшается. Так, при $h_0 = 1$ м оптимальный угол вылета составляет 42° , а при $h_0 = 1,5$ м – 41° .

Однако в реальных условиях спортивной деятельности на снаряд **всегда действует окружающая среда**, прежде всего воздух. В этом случае возникает **сила сопротивления воздуха**, направленная противоположно движению снаряда. Эта сила замедляет движение как по горизонтали, так и по вертикали, уменьшая дальность и высоту полета. Например, полет ядра или молота происходит с заметным торможением, особенно на высоких скоростях, что приводит к уменьшению результата по сравнению с теоретическим полетом без сопротивления воздуха.

Для некоторых спортивных снарядов (диск, копье) существенное значение имеет также **подъемная сила**. Она возникает при движении тела, ось симметрии которого расположена под углом к направлению движения (угол атаки). Подъемная сила частично компенсирует действие силы тяжести, увеличивая время полета и, как следствие, дальность метания. Именно поэтому в метании диска и копья большое внимание уделяется положению снаряда в момент вылета и управлению углом атаки. Для диска существует оптимальное значение угла атаки (в пределах $25\text{--}30^\circ$), которое обеспечивают наибольшую дальность полета.

Особое место среди сил, действующих на спортивный снаряд, занимают силы, связанные с его **вращением**. При вращении симметричных тел, таких как мячи, возникает дополнительная аэродинамическая сила, обусловленная **эффектом Магнуса** (рис. 30). В результате вращения изменяется распределение давления воздуха вокруг снаряда, и появляется сила, отклоняющая его траекторию.

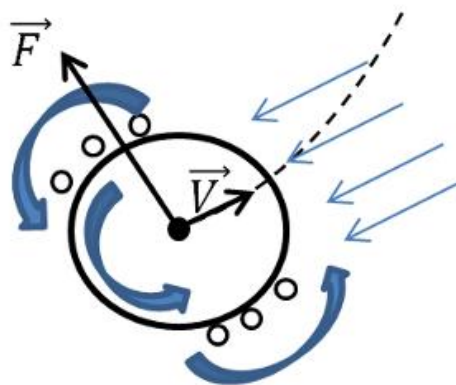


Рисунок 30 – Иллюстрация механизма образования дополнительных сил, связанных с вращением спортивного снаряда (Н.Б. Сотский, 2023)

Этот эффект широко используется в игровых видах спорта. Так, в футболе вращение мяча в вертикальной плоскости позволяет выполнять удары с «подкруткой», заставляя мяч лететь выше или, наоборот, резко снижаться (рис. 31). При выполнении удара по футбольному мячу можно обеспечить его вращение в различных плоскостях. Вращение в вертикальной плоскости позволяет (в зависимости от его направления) либо заставить

мяч лететь выше и дальше, по сравнению с отсутствием вращения, либо резче падать вниз. Вращение в горизонтальной плоскости приводит к искривлению траектории в сторону, что используется при обводящих ударах, подачах в теннисе и волейболе. Величина такого отклонения зависит от скорости полета и угловой скорости вращения мяча. В меньшей степени эффект Магнуса сказывается на движении баскетбольных мячей (из-за их более значительной массы).



Рисунок 31 – Пример использования вращения мяча в футболе

Таким образом, полет спортивного снаряда является результатом совместного действия силы тяжести, сил сопротивления среды, подъемной силы и сил, связанных с вращением. Учет этих сил позволяет спортсмену и тренеру целенаправленно управлять техникой бросков и ударов, повышая точность, дальность и эффективность выполнения двигательных действий.

2. Сообщение движения спортивным снарядам

Сообщение движения спортивным снарядам является ключевым этапом в обеспечении их полета и, следовательно, спортивного результата. Под сообщением движения понимается процесс передачи снаряду линейной и угловой скорости в момент взаимодействия с телом спортсмена или с внешними объектами (опорой, клюшкой, ракеткой и т. д.). В спортивной практике используются два основных способа сообщения движения снарядам: разгон и удар.

Разгон представляет собой постепенное увеличение скорости снаряда в течение конечного промежутка времени за счет непрерывного взаимодействия с телом спортсмена. Такой способ характерен для метаний и бросков, где снаряд находится в контакте с рукой на протяжении всего движения. Примерами являются толкание ядра, метание копья, диска и молота, а также броски мяча в баскетболе, гандболе и водном поло.

Скорость вылета снаряда при разгоне определяется скоростью его общего центра масс в момент прекращения контакта с рукой спортсмена. Если линия действия силы проходит через центр масс снаряда, он получает только поступательное движение. Если же сила приложена не через центр масс, возникает вращение снаряда относительно его оси. Так, при броске баскетбольного мяча «с вращением» мяч получает обратное вращение, повышающее устойчивость траектории и точность попадания.

При наличии нескольких точек контакта (например, когда мяч удерживается всей кистью) движение мяча во многом повторяет движение соответствующего сегмента руки. Линейная скорость мяча определяется поступательным движением кисти, а угловая скорость – ее вращением в момент выпуска. При этом вклад в скорость мяча вносит не только движение кисти, но и вращение предплечья, плеча и даже всего тела спортсмена.

Ударный способ сообщения движения характеризуется очень кратковременным взаимодействием, во время которого возникают большие силы. Такой способ используется в футболе, волейболе, хоккее, теннисе и других игровых видах спорта. В этих случаях скорость снаряда изменяется практически мгновенно.

Рассмотрим ситуацию, представленную на рис. 32. Предположим, что соударяющиеся тела с центрами тяжести A и B в момент удара контактируют в точке C . Проведем в последней касательную плоскость DE и линию FG , перпендикулярную к ней.

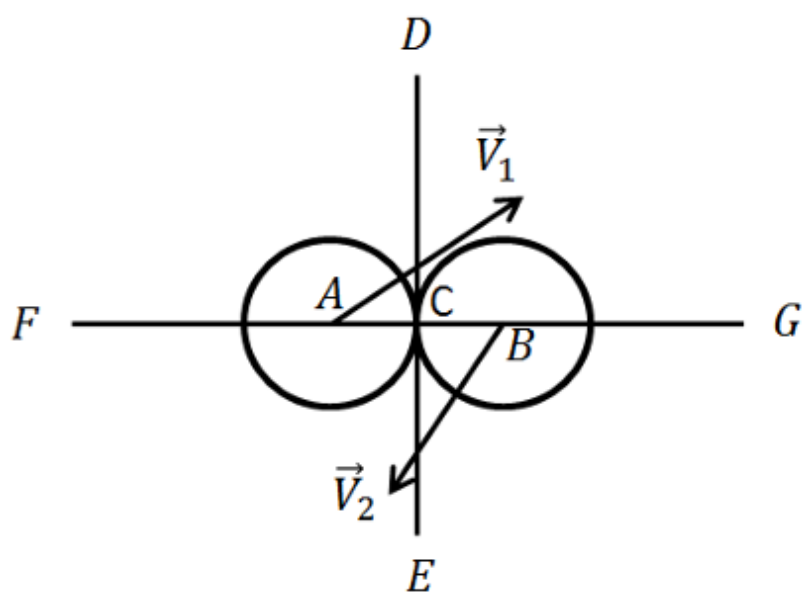


Рисунок 32 – Характеристики ударного взаимодействия (Н.Б. Сотский, 2023)

Линия FG называется прямой удара. Если она проходит через центры тяжести соударяющихся тел, удар называется **центральный**. Если же хотя бы один из центров тяжести не лежит на указанной прямой, удар называется **нецентральный**. Например, при центральном ударе по неподвижному футбольному мячу без вращения он полетит по направлению удара. При нецентральной ударе мяч получает вращение, что используется для выполнения «крученых» и обводящих ударов. Кроме этого, ударное взаимодействие тел может быть **прямым** или **косым**. В первом случае скорости центров тяжести в момент начала удара направлены вдоль прямой удара, а во втором – хотя бы одна из них имеет другое направление.

Результат удара зависит от **массы** взаимодействующих тел, **направления их скоростей**, **точки приложения силы** и степени **упругости** взаимодействия. Рассмотрим взаимодействие мяча с горизонтальной поверхностью опоры. Если мяч приближается к поверхности со скоростью, перпендикулярной ей (прямой центральный удар), и при этом не имеет вращения относительно общего центра масс, в процессе соударения не возникают силы, изменяющие направление его движения. В результате после удара мяч отскакивает в направлении, противоположном первоначальному. Величина скорости отскока определяется степенью упругости взаимодействия: чем она выше, тем меньше потери энергии происходят при ударе и тем выше скорость мяча после отскока. При меньшей

упругости значительная часть энергии расходуется на деформацию мяча и поверхности, что приводит к снижению скорости отскока.

При **косом ударе** мяч приближается к поверхности опоры со скоростью, направленной под углом к вертикали. Такая ситуация характерна для многих видов спорта: отскок баскетбольного мяча от паркета, удар футбольного мяча о газон, касание теннисного мяча корта или стола в настольном теннисе. Поведение мяча после соударения в этих условиях зависит от степени упругости взаимодействия с опорой, наличия сил трения вдоль поверхности и возможного вращения мяча относительно его общего центра масс.

В этом случае **абсолютно упругого косого удара при отсутствии сил трения** количество движения мяча удобно разложить на две составляющие: перпендикулярную поверхности удара и параллельную ей (рис. 33). Перпендикулярная составляющая после удара изменяет направление на противоположное, сохраняя свою величину, тогда как параллельная составляющая не изменяется, поскольку вдоль поверхности отсутствуют силы. В результате мяч отражается от поверхности под **углом, равным углу падения**. Подобная ситуация может наблюдаться, например, при отскоке хорошо накачанного мяча от гладкого покрытия спортивного зала.

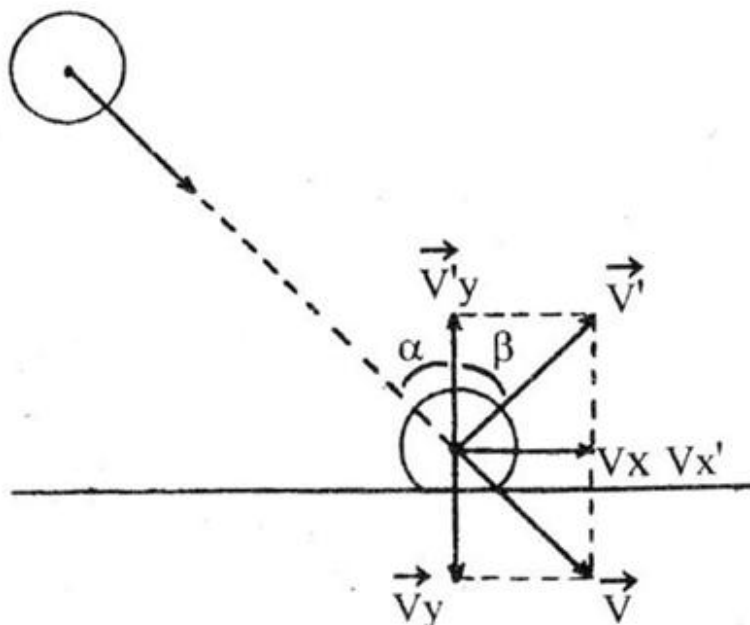


Рисунок 33 – Косое соударение тела с неподвижной горизонтальной поверхностью. Удар абсолютно упругий при отсутствии сил трения (Н.Б. Сотский, 2023)

Рассмотрим теперь влияние **сил трения при косом абсолютно упругом ударе**. В этом случае вертикальная составляющая скорости отражается без изменения величины, однако горизонтальная составляющая уменьшается под действием силы трения, направленной против движения мяча. В результате общая скорость после удара становится меньше, а угол отражения уменьшается по сравнению с углом падения. Кроме того, за счет действия сил трения мяч приобретает вращение относительно своего центра масс, на что затрачивается часть его кинетической энергии. Подобная ситуация часто наблюдается в баскетболе, когда мяч при отскоке от паркета начинает вращаться.

Особый интерес для спортивной практики представляет случай, когда **мяч перед ударом уже имеет вращение**. Если при наличии сил трения мяч вращается, например, по часовой стрелке, а линейная скорость точек его поверхности превышает

горизонтальную скорость поступательного движения, то сила трения во время удара может быть направлена вперед. Это приводит к увеличению горизонтальной составляющей скорости и, как следствие, к увеличению угла отражения. Подобный эффект активно используется в теннисе и настольном теннисе при выполнении ударов с нижним вращением.

При противоположном направлении вращения (против часовой стрелки) сила трения действует в сторону, противоположную движению мяча. В этом случае горизонтальная составляющая скорости уменьшается сильнее, а угол отражения становится меньше по сравнению со случаем отсутствия вращения. Такой эффект хорошо знаком футболистам при выполнении ударов с «резкой» подкруткой мяча, когда после касания газона траектория резко изменяется.

Таким образом, сообщение движения спортивным снарядам является сложным биомеханическим процессом, зависящим от способа взаимодействия спортсмена со снарядом, условий удара или разгона и свойств самих взаимодействующих тел. Использование разгона позволяет постепенно накапливать линейную и угловую скорость за счет согласованной работы звеньев тела, тогда как ударный способ обеспечивает резкое изменение скорости за счет кратковременных, но значительных сил. Учет массы снаряда, точки приложения силы, степени упругости, наличия трения и вращения позволяет спортсмену целенаправленно управлять скоростью, направлением и характером движения снаряда.

Лекция. Статика

1. Сохранение устойчивого положения тела (равновесие)
2. Виды равновесия
3. Характеристики равновесия

Во многих видах спорта спортсмену необходимо не только выполнять движения, но и сохранять устойчивое положение тела в различных позах и условиях. Удержание стартовой позиции, стойки в борьбе, равновесие на гимнастическом снаряде или во время приземления требуют понимания закономерностей статики.

Статика в биомеханике изучает условия сохранения равновесия тела и его частей, когда отсутствует поступательное или вращательное движение. Знание основных принципов равновесия позволяет объяснить, почему одни позы являются устойчивыми, а другие – нет, и каким образом спортсмен может управлять положением тела для повышения стабильности и эффективности технических действий. В данной лекции рассматриваются основные условия сохранения равновесия, виды равновесия и их характеристики применительно к спортивной деятельности.

1. Сохранение устойчивого положения тела (равновесие)

Раздел статики в биомеханике посвящен изучению условий сохранения устойчивого положения тела спортсмена в пространстве. Как было рассмотрено ранее, положение тела определяется тремя характеристиками: **местом, ориентацией и позой**. Следовательно, сохранение устойчивого положения означает неизменность этих трех параметров во времени.

Место тела спортсмена в пространстве задается положением его **общего центра масс**. Согласно второму закону Ньютона, общий центр масс будет находиться в состоянии покоя только в том случае, если **векторная сумма всех внешних сил, действующих на тело, равна нулю**. В спортивной практике это означает, что для сохранения статического положения силы, действующие на спортсмена, должны быть уравновешены.

Примером является вис спортсмена на перекладине в неподвижной позе. На его тело действуют две основные силы: сила тяжести, направленная вниз, и сила реакции опоры со стороны перекладины, направленная вверх. При равенстве этих сил и отсутствии дополнительных воздействий положение тела сохраняется неизменным. Для нарушения равновесия и сообщения ускорения центру масс необходимо либо внешнее воздействие (толчок партнера), либо активные движения самого спортсмена, изменяющие соотношение действующих сил.

Сохранение ориентации тела связано с отсутствием вращательного движения. Для этого необходимо, чтобы **сумма моментов внешних сил относительно центра масс или осей опоры была равна нулю**. В большинстве спортивных ситуаций тело спортсмена находится в контакте с опорой, и возможное движение происходит в виде вращения вокруг точек или линий опоры.

При анализе спортивных движений, происходящих в контакте с твердой опорой, перемещение тела как целого в пространстве сводится к вращению относительно осей, проходящих через точки контакта с опорой. Для таких ситуаций условие сохранения положения тела сводится к равенству нулю суммы моментов внешних сил, действующих на тело спортсмена относительно указанных осей. Например, в случае, изображенном на рис. 34, спортсмен стоит на твердой горизонтальной плоскости, опираясь на полную ступню, крайние точки которой обозначены А и В. Указанные точки ограничивают зону взаимодействия с опорой. Тело спортсмена может двигаться, вращаясь вокруг указанных точек. Если предположить, что поза спортсмена неизменна, на его тело действуют сила тяжести P и реакция опоры R , которые равны по величине и направлены противоположно.

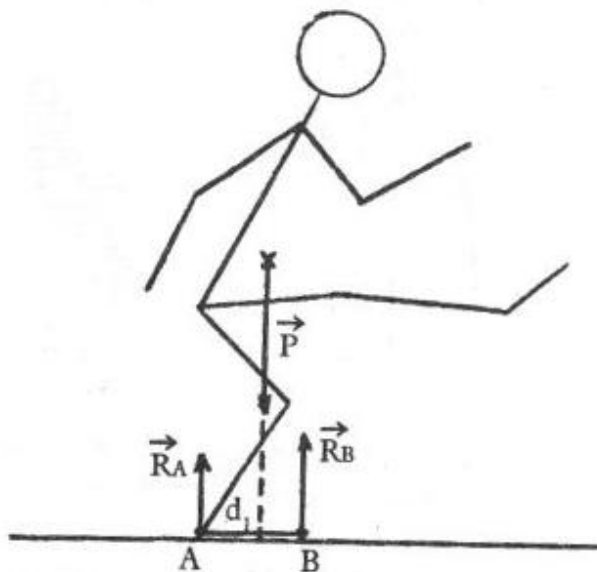


Рисунок 34 – Равновесие при контакте с твердой опорой (Н.Б. Сотский, 2023)

При наклоне тела вперед или назад, например, за счет изменения угла в голеностопном суставе, происходит перераспределение сил реакции опоры: нагрузка на одну часть стопы возрастает, а на другую уменьшается. Если линия действия силы тяжести смещается к краю площади опоры, равновесие становится менее устойчивым. Когда же она выходит за пределы площади опоры, возникает момент силы тяжести, вызывающий опрокидывание тела.

Для количественной и качественной оценки устойчивости тела вводится понятие **площади опоры** – площади, ограниченной крайними точками контакта тела спортсмена с опорой. Чем больше площадь опоры и чем ближе проекция центра масс к ее центру, тем выше устойчивость положения. Это хорошо прослеживается в спорте: борцы (рис. 35) и тяжелоатлеты для повышения устойчивости широко расставляют ноги, гимнасты усложняют удержание равновесия, уменьшая площадь опоры, а фигуристы и акробаты управляют положением центра масс для сохранения устойчивых поз.



Рисунок 35 – Типичная поза спортсмена-борца. Площадь опоры

2. Виды равновесия

Положение тела, в котором оно может находиться без движения, называется **положением равновесия**. Однако такое состояние может иметь различную степень устойчивости. В биомеханике и механике принято выделять **четыре основных вида равновесия**: устойчивое, неустойчивое, безразличное и ограниченно устойчивое. Знание этих видов имеет большое значение для анализа техники и тактики спортивных движений.

Неустойчивое равновесие характеризуется тем, что даже незначительное отклонение тела от исходного положения приводит к возникновению сил или моментов сил, которые еще больше увеличивают это отклонение. В спортивной практике примером неустойчивого равновесия является стойка на руках на перекладине (рис. 36а) или брусках. Малейшее смещение тела от вертикали вызывает момент силы тяжести, который уводит спортсмена дальше от исходного положения, поэтому для удержания равновесия требуются постоянные активные мышечные усилия и высокая координация движений.

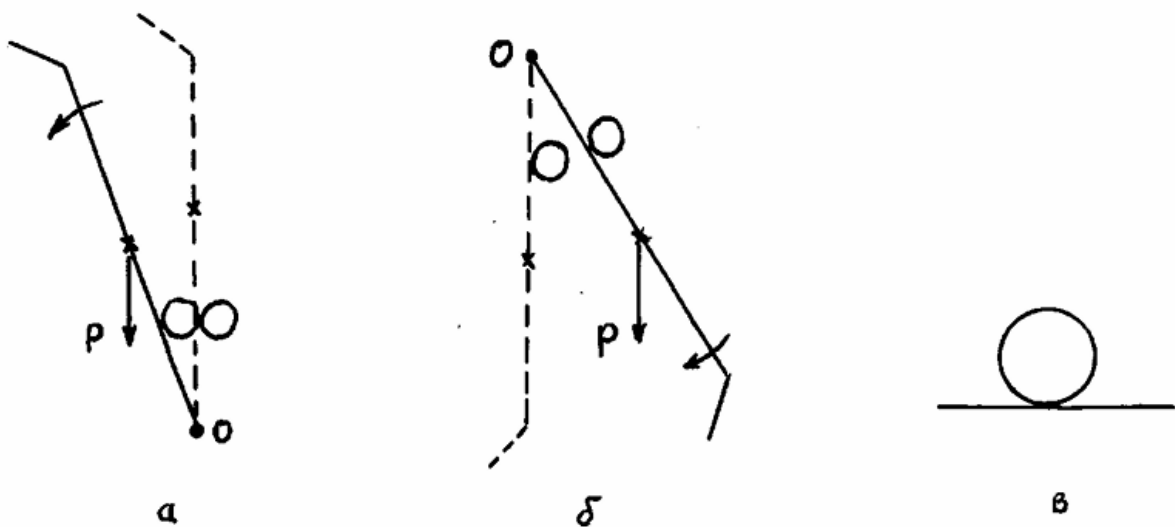


Рисунок 36 – Виды равновесия тела при контакте с твердой опорой (Н.Б. Сотский, 2023)

Устойчивое равновесие имеет место в том случае, когда при отклонении тела от положения равновесия возникают силы, стремящиеся вернуть его в исходное состояние. Примером является положение спортсмена, висящего на перекладине (рис. 36б). При отклонении туловища в сторону возникает момент силы тяжести, который возвращает тело в положение равновесия. Подобный тип равновесия также наблюдается при глубокой стойке с широко расставленными ногами, например, у борца, готового к защите или атаке.

Безразличное равновесие отличается тем, что при отклонении тела от исходного положения не возникают силы, ни возвращающие его обратно, ни увеличивающие отклонение. Такое равновесие характерно для тел симметричной формы, например, мяча или ядра, находящихся на горизонтальной поверхности (рис. 36в). Если мяч слегка сдвинуть и отпустить, он останется в новом положении. В спортивной практике безразличное равновесие встречается редко, рассматривается при анализе положения спортивных снарядов.

В реальных условиях спортивной деятельности чаще всего встречается **ограниченно устойчивое равновесие**. Оно характеризуется тем, что при небольших отклонениях тело способно вернуться в исходное положение, однако при превышении определенного предела равновесие нарушается и становится неустойчивым. Такой тип равновесия типичен для большинства спортивных упражнений: стойки гимнастов, положения

тяжелоатлета перед подъемом штанги, стартовые позиции бегунов или балансирование спортсмена на узкой опоре.

Анализ видов равновесия имеет большое **практическое значение в спорте**. В видах спортивной борьбы (дзюдо, самбо, вольная и греко-римская борьба) целенаправленное выведение соперника из равновесия является важнейшим элементом техники. В гимнастике, акробатике, гребле на байдарках и каноэ, а также в игровых видах спорта способность сохранять равновесие в сложных условиях напрямую влияет на эффективность и безопасность выполнения двигательных действий.

3. Характеристики равновесия

Для количественной и качественной оценки устойчивости положения тела используют несколько основных характеристик равновесия, к которым относятся **коэффициент устойчивости** и **угол устойчивости**.

Коэффициент устойчивости показывает, насколько положение тела устойчиво к действию внешних сил. В условиях ограниченно-устойчивого положения тела спортсмена, представленного на рис. 37, возвращающей силой будет сила тяжести mg , а отклоняющей – сила действия со стороны соперника F . Если учесть, что опрокидывание тела будет происходить относительно оси, проходящей через крайнюю точку контакта с опорой O , для представленного примера коэффициент устойчивости выражается следующим соотношением $K_{устойч.} = M_{устойч.} / M_{отклон.}$. Если коэффициент устойчивости равен или больше единицы, спортсмен сохраняет равновесие; если он становится меньше единицы, происходит опрокидывание.

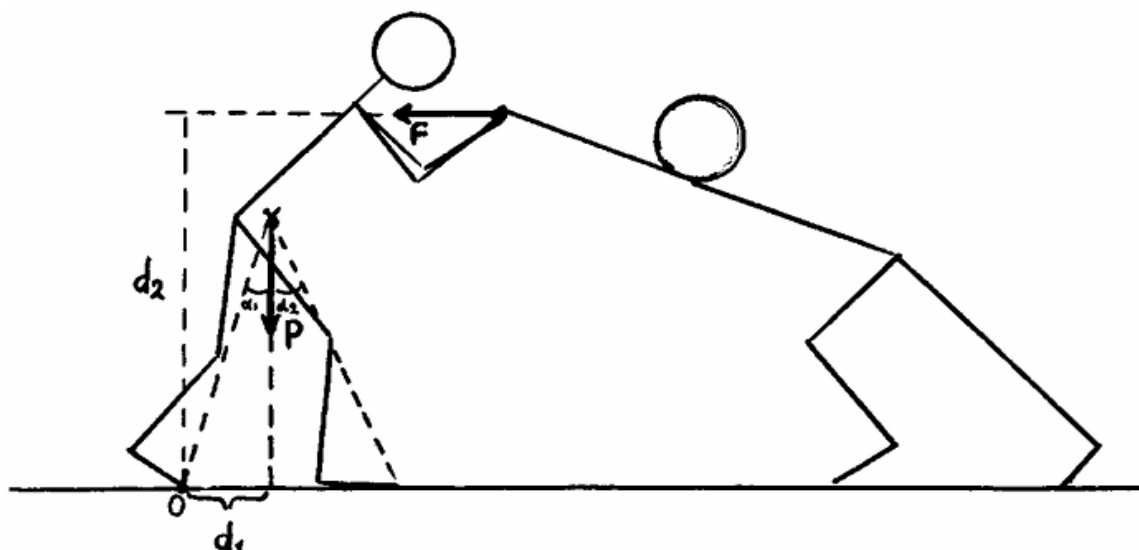


Рисунок 37 – Параметры, характеризующие степень устойчивости тела спортсмена, находящегося в контакте с твердой опорой (Н.Б. Сотский, 2023)

На практике это хорошо видно в спортивной борьбе: борец, стоящий в низкой и широкой стойке, способен противостоять толчкам соперника, так как момент силы тяжести у него велик. Напротив, спортсмен в высокой стойке легко выводится из равновесия даже при небольшом усилии со стороны соперника.

Угол устойчивости – это угол между вертикалью и линией, соединяющей общий центр тяжести тела с граничной точкой площади опоры, относительно которой возможно опрокидывание. Чем **больше угол устойчивости**, тем более устойчиво положение тела.

Эта характеристика наглядно отражает влияние высоты расположения общего центра тяжести на устойчивость. Например, гимнаст в глубоком приседе или тяжелоатлет в положении перед подъемом штанги имеет меньшую высоту общего центра тяжести и, следовательно, больший угол устойчивости по сравнению с положением стоя.

Устойчивость тела также оценивается по расположению проекции общего центра тяжести относительно границ площади опоры. Чем дальше проекция общего центра тяжести находится от границы площади опоры в заданном направлении, тем выше устойчивость в этом направлении.

Так, борец, широко расставивший ноги во фронтальном направлении, получает значительный запас устойчивости при толчках во фронтальном направлении, но может быть менее устойчив к воздействию сагиттальном. Аналогично, у спортсмена на узкой опоре (например, гимнаста на бревне) запас устойчивости минимален, что требует высокой точности и контроля движений.

Одной из важнейших характеристик равновесия является **способность сохранять позу**, то есть поддерживать неизменные суставные углы. Такое состояние называют **осанкой**. Различают **статическую осанку**, при которой суставные углы сохраняются при постоянных внешних силах (например, основная стойка), и **динамическую осанку**, при которой суставные углы удерживаются в процессе движения (например, при выполнении гимнастических элементов или при гребле).

Сохранение позы обеспечивается равновесием моментов сил относительно осей суставов. Для этого усилия мышц должны уравнивать действие силы тяжести и, при движении, силы инерции. Например, при удержании согнутой в локтевом суставе руки с гантелью мышцы-сгибатели создают момент силы, равный моменту силы тяжести, действующей на предплечье и снаряд.

В ряде видов спорта необходимо учитывать **равновесие системы, состоящей из нескольких тел**. Такие ситуации характерны для парной и групповой акробатики, а также для спортивной борьбы. В этих случаях спортсменов рассматривают как единую систему с общим центром тяжести и общей площадью опоры. Равновесие такой системы сохраняется, если проекция общего центра тяжести находится внутри общей площади опоры.

Лекция. Биомеханические закономерности освоения двигательного действия

1. Проблема традиционного подхода к обучению двигательному действию
2. Последовательность освоения двигательного действия
3. Двигательные ошибки

Освоение двигательного действия является ключевым компонентом учебно-тренировочного процесса и эффективного обучения в двигательной сфере. В современной биомеханике процесс обучения движения рассматривается не только с точки зрения повторения техники, но и с учетом закономерностей формирования правильных двигательных навыков, их адаптации к изменяющимся условиям и предотвращения ошибок.

Традиционный подход к обучению двигательному действию часто строится на подражании эталону движения и многократном повторении, что не всегда учитывает индивидуальные особенности обучаемого и биомеханические закономерности движений. В результате формируются устойчивые, но не всегда эффективные или безопасные двигательные стереотипы, а устранение ошибок требует значительных усилий и времени.

Современная биомеханическая теория позволяет рассматривать освоение двигательного действия как последовательный процесс, включающий этапы освоения отдельных элементов движения, и их интеграцию в целостное действие. Особое внимание уделяется выявлению и анализу двигательных ошибок, пониманию их причин и разработке методов их коррекции.

1. Проблема традиционного подхода к обучению двигательному действию

В большинстве видов спорта обучение двигательным действиям традиционно строится на копировании эталонной техники. Спортсмену демонстрируют правильное выполнение движения – целиком или по частям, после чего он пытается самостоятельно воспроизвести увиденное. Такой подход широко распространен в практике тренеров, однако он часто оказывается малоэффективным, особенно на начальных этапах обучения.

Одной из ключевых проблем традиционного подхода является **нарушение принципа наглядности**. При просмотре эталонного выполнения начинающий спортсмен наблюдает движение со стороны, ориентируясь на неподвижные объекты окружающей среды – стены зала, дорожку, снаряды. Однако при самостоятельном выполнении движения он воспринимает его изнутри собственного тела, опираясь на мышечные и суставные ощущения. Таким образом, одно и то же движение рассматривается в **разных системах отсчета**, из-за чего его образ в сознании спортсмена искажается.

Это хорошо заметно, например, при обучении прыжкам в легкой атлетике или технике удара в футболе. Тренер видит движение спортсмена со стороны и дает указания, опираясь на внешнюю картину, тогда как сам спортсмен не может напрямую сопоставить эти указания со своими ощущениями. В результате между словами тренера и субъективным восприятием движения у обучающегося возникает несоответствие, что затрудняет корректное выполнение.

Другой трудностью традиционного подхода является необходимость **одновременного воспроизведения большого числа движений в различных суставах**. При этом начинающему спортсмену предлагается сразу учитывать положение туловища, работу рук и ног, амплитуды движений и их ограничения, характерные для эталонной техники. На практике это приводит к перегрузке внимания и ухудшению качества выполнения движения.

Кроме того, в традиционном обучении часто **не различается значимость отдельных элементов движения**. Все движения и положения суставов воспринимаются как

равно важные, хотя на самом деле для достижения результата ключевое значение имеют лишь некоторые из них. Например, в метании или броске решающую роль играет правильная передача усилия через основные суставы, тогда как второстепенные движения лишь уточняют и корректируют технику.

Данные недостатки традиционного подхода обуславливают необходимость поиска более рациональных способов обучения двигательным действиям. В биомеханически обоснованном подходе двигательное действие рассматривается как система **элементов динамической осанки, главных и корректирующих управляющих движений в суставах**. Эти элементы образуют своего рода «строительные блоки», из которых формируется любое целенаправленное движение человека. Такой взгляд позволяет упростить процесс обучения, выделить главное в технике и повысить эффективность формирования двигательных навыков.

2. Последовательность освоения двигательного действия

Если научиться правильно фиксировать суставы, формирующие конструкцию двигательного действия, и освоить главные управляющие движения, обеспечивающие необходимые перемещения тела спортсмена в пространстве, обучение можно сделать максимально эффективным даже без демонстрации эталонного исполнения. Такой процесс обучения часто напоминает конвейерную сборку технической конструкции, где каждый элемент выполняет свою роль. Поэтому для успешного освоения любого двигательного действия важно точно знать, из каких основных «кирпичиков» оно состоит – элементов динамической осанки и управляющих движений – и каким образом их правильно «соединять» в единую конструкцию движения.

Освоение любого двигательного действия у спортсмена представляет собой строго последовательный процесс, который основывается на биомеханических принципах построения движения (рис. 38). Первым этапом является освоение **элементов динамической осанки** – способности удерживать тело и суставы в нужной позиции при различных условиях. Эти элементы формируют «каркас» движения, на котором затем строятся более сложные двигательные навыки.



Рисунок 38 – Параметры, характеризующие степень устойчивости тела спортсмена, находящегося в контакте с твердой опорой (Н.Б. Сотский, 2023)

Например, при обучении большому обороту на перекладине спортсмен сначала осваивает надежный хват грифа и фиксацию суставов во время простого виса. Затем осваивается фиксация тела при раскачиваниях с постепенным увеличением амплитуды, и только после этого выполняется большой оборот с внешней помощью тренера. Подобная последовательность позволяет постепенно приближать условия обучения к реальному выполнению движения и минимизировать ошибки.

На следующем этапе изучаются **главные управляющие движения**, которые непосредственно обеспечивают необходимые перемещения тела. Для большого оборота это движения в плечевых суставах. Их также изучают постепенно: сначала в стационарных условиях виса, затем при раскачивании и только после этого в составе полного движения.

После освоения отдельных элементов динамической осанки и управляющих движений они **соединяются в базовое исполнение двигательного действия**. На этом этапе спортсмен выполняет движение, опираясь только на главные управляющие движения, часто с поддержкой тренера или тренажеров. Такое построение обеспечивает правильную биомеханику действия и закладывает основу для дальнейшего совершенствования.

На заключительном этапе происходит совершенствование движения, включая постепенное подключение **вспомогательных управляющих движений**, коррекцию временных параметров и адаптацию к реальным условиям соревнований.

3. Двигательные ошибки

При выполнении спортивных движений фактические параметры двигательных действий, как правило, в той или иной степени отклоняются от идеальных значений, задаваемых общей программой движения. Если такие отклонения незначительны и не мешают достижению цели действия, их относят к **допустимым (типовым) ошибкам**. В видах спорта с экспертной системой судейства подобные неточности обычно не приводят к снижению оценки. В тех случаях, когда отклонение от программы движения превышает допустимые пределы или цель действия не достигается, говорят о наличии **двигательной ошибки**.

С биомеханической точки зрения любое двигательное действие состоит из **элементов динамической осанки и управляющих движений в суставах**, что позволяет классифицировать и двигательные ошибки по этим же основаниям. Различают ошибки в элементах осанки и ошибки при выполнении управляющих движений (рис. 39).

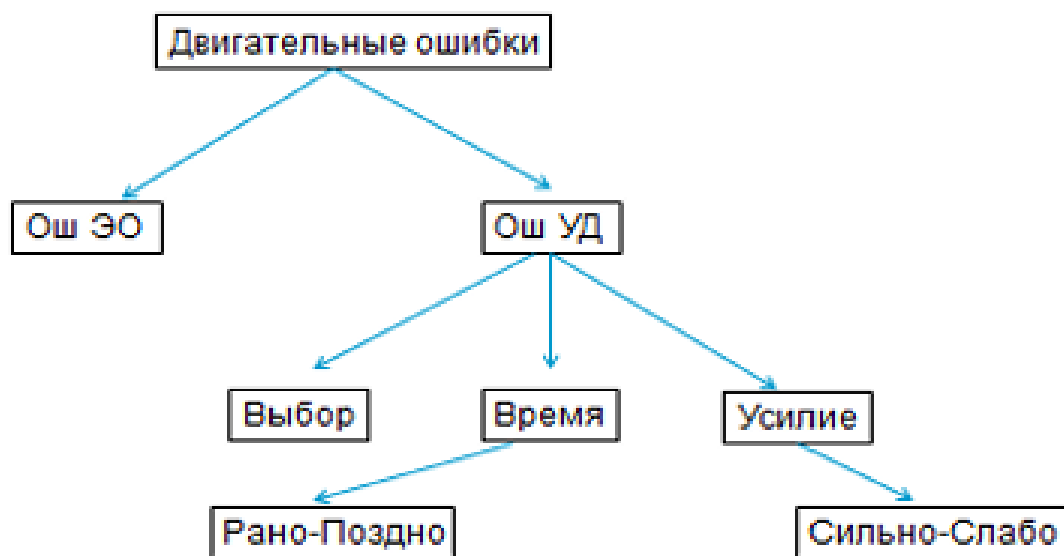


Рисунок 39 – Классификация двигательных ошибок (Н.Б. Сотский, 2023)

Ошибки в элементах динамической осанки проявляются прежде всего в нарушении фиксации суставов, захвата снаряда или контакта с соперником. Такие ошибки, как правило, приводят к немедленному разрушению двигательного действия. Например, при выполнении большого оборота на перекладине нарушение фиксации суставных углов, обеспечивающих надежный захват грифа, заканчивается срывом и падением спортсмена. Аналогично в спортивной борьбе ослабление захвата соперника делает невозможным выполнение броска. В ряде случаев ошибки осанки выражаются в появлении нехарактерных движений, например, чрезмерного запрокидывания головы при выполнении прыжков в воду, что снижает качество исполнения и судейскую оценку. Подобные ошибки, как правило, достаточно легко выявляются при педагогическом и визуальном анализе техники.

Ошибки в управляющих движениях подразделяются на две группы: ошибки выбора управляющих движений и ошибки их осуществления. В первом случае спортсмен использует второстепенные (корректирующие) движения вместо главных, что особенно характерно для обучения на основе подражания образцовым исполнениям. Так, при освоении большого оборота на перекладине начинающий спортсмен может пытаться выполнить элемент за счет активного сгибания в тазобедренных суставах, тогда как главным управляющим движением является работа в плечевых суставах. Аналогичная ситуация наблюдается в борьбе, когда при выведении соперника из равновесия вместо эффективного сгибания в тазобедренном суставе опорной ноги ошибочно используется разгибание в голеностопных суставах, замедляющее выполнение приема.

Ошибки при осуществлении управляющих движений связаны либо с неадекватной величиной мышечного усилия (ошибки типа «сильно – слабо»), либо с нарушением времени выполнения движения (ошибки типа «рано – поздно»). При выполнении прыжка в длину с разбега типичной двигательной ошибкой является преждевременное или запаздывающее выпрямление опорной ноги в коленном и тазобедренном суставах в фазе отталкивания. При слишком раннем выпрямлении спортсмен не успевает эффективно преобразовать горизонтальную скорость разбега в вертикальную составляющую полета, что приводит к снижению дальности прыжка. В случае запаздывания управляющего движения опорной ноги теряется жесткость опоры, возрастает тормозящее действие, и прыжок также оказывается менее результативным. Данная ошибка может быть обусловлена как нарушением временных параметров выполнения движения («рано – поздно»), так и недостаточным силовым обеспечением главного управляющего движения.

Другим примером является выполнение сальто назад с чрезмерным силовым разгибанием в тазобедренных суставах, которое приводит к избыточной скорости вращения тела и потере равновесия при приземлении, тогда как недостаточное усилие не позволяет завершить полный оборот. Аналогичные последствия могут возникать и при ошибках во времени: слишком раннее или слишком позднее распрямление тела нарушает оптимальный режим вращения и приводит к падению вперед или назад.

Важно отметить, что последствия ошибок в величине усилия и во времени выполнения управляющих движений нередко оказываются сходными, что затрудняет их распознавание. В таких случаях применяется **метод исключения**, включающий анализ уровня силовой подготовленности спортсмена и условий выполнения движения. После точного определения причины двигательной ошибки ее коррекция, как правило, осуществляется достаточно эффективно за счет целенаправленного педагогического воздействия.

Лекция. Биомеханика двигательных качеств

1. Двигательные качества
2. Биомеханика скоростно-силовых качеств при выполнении спортивных движений
3. Биомеханика проявления выносливости при выполнении спортивных движений
4. Биомеханические основы гибкости

Двигательные качества являются фундаментальной основой спортивной деятельности и во многом определяют эффективность, экономичность и надежность выполнения двигательных действий. Скорость, сила, выносливость и гибкость проявляются не изолированно, а в тесной взаимосвязи с биомеханической структурой движений, особенностями работы суставов, мышц и опорно-двигательного аппарата в целом.

Биомеханика двигательных качеств рассматривает закономерности их проявления в спортивных движениях с позиции механики и управления движением, позволяя понять, за счет каких кинематических и динамических параметров достигается высокий результат. Такой подход дает возможность оценивать уровень развития двигательных качеств и целенаправленно совершенствовать технику движений, а также снижать энергозатраты.

В рамках данной лекции будут рассмотрены понятие и классификация двигательных качеств, биомеханические особенности проявления скоростно-силовых качеств и выносливости при выполнении спортивных движений, а также биомеханические основы гибкости как важного условия эффективной и безопасной двигательной деятельности спортсмена.

1. Двигательные качества

Двигательные качества можно определить как способность организма реализовывать свой потенциал через движение. В спортивной деятельности условия выполнения движений и стоящие перед спортсменом задачи могут существенно различаться, что требует проявления различных сторон работы скелетно-мышечной системы. Одни двигательные действия должны выполняться с максимально возможной скоростью (например, старт и разгон в беге на короткие дистанции), другие – с сохранением оптимальной скорости в течение длительного времени (бег на средние и длинные дистанции, плавание, гребля), третьи – с проявлением значительной силы в условиях ограниченной подвижности суставов (удержание позиций в спортивной борьбе, статические элементы в гимнастике). Во многих видах спорта одновременно предъявляются требования к высокой суставной подвижности, например, в художественной гимнастике, фигурном катании или прыжках в воду.

С биомеханической точки зрения проявление двигательных качеств неразрывно связано с особенностями суставных движений. Любое двигательное действие можно представить как сочетание **ограничений подвижности в одних суставах (элементов динамической осанки)** и **активных движений в других (управляющих движений)**. Поэтому уровень проявления двигательных качеств в спорте определяется не только общими возможностями организма, но и их реализацией на уровне конкретных суставов и мышечных групп, участвующих в удержании позы или выполнении движения.

Силу в биомеханическом смысле следует рассматривать как способность сообщать телу или его отдельным звеньям ускорение либо обеспечивать ограничение суставного движения под действием внешних сил. Так, при разгибании опорной ноги в прыжке в длину спортсмен сообщает телу положительное ускорение, а при приземлении или удержании равновесия после прыжка мышцы работают в уступающем или статическом режиме, обеспечивая отрицательное ускорение и стабилизацию суставных углов. В первом случае реализуются управляющие движения, во втором – элементы осанки.

Быстрота характеризуется способностью сообщать телу или его звеньям необходимую скорость за минимально возможный промежуток времени. Ярким примером проявления быстроты является стартовое ускорение спринтера или быстрый удар ногой в единоборствах. Выносливость, в свою очередь, определяется способностью сохранять скорость движения или его эффективность при многократных повторениях, что хорошо иллюстрируется техникой бега на длинные дистанции, где важно поддерживать заданный темп при возрастающем утомлении. Гибкость рассматривается как способность выполнять движения большого размаха и определяется подвижностью отдельных суставов, что особенно значимо для гимнастов, акробатов и фигуристов.

В процессе выполнения двигательного действия мышечная сила обеспечивает ускорение звеньев тела, что приводит к изменению скорости суставных движений. С точки зрения механики скорость и сила тесно взаимосвязаны, поэтому в биомеханике спортивных движений целесообразно рассматривать их совместно в рамках **скоростно-силовых качеств**, определяющих эффективность большинства динамических упражнений.

2. Биомеханика скоростно-силовых качеств при выполнении спортивных движений

Скоростно-силовые качества проявляются в способности спортсмена за короткое время сообщать телу или его отдельным звеньям значительное ускорение. С биомеханической точки зрения основой их реализации являются закономерности выполнения суставных движений, которые удобно рассматривать на примере упрощенной двухзвенной модели опорно-двигательного аппарата. Если одно из звеньев зафиксировано, то ускорение другого определяется результирующим моментом сил относительно оси вращения сустава O (рис. 40). Такие моменты обычно образуют: сила тяги мышц, обеспечивающая суставное движение (F_T), внешние силы, действующие на звено со стороны внешних тел ($F_{\text{внеш.}}$), и силы пассивного сопротивления со стороны опорно-двигательного аппарата (трение в суставе, силы вязкости, возникающие при относительном движении мышечных волокон при пассивном растягивании мышц-антагонистов и др.).

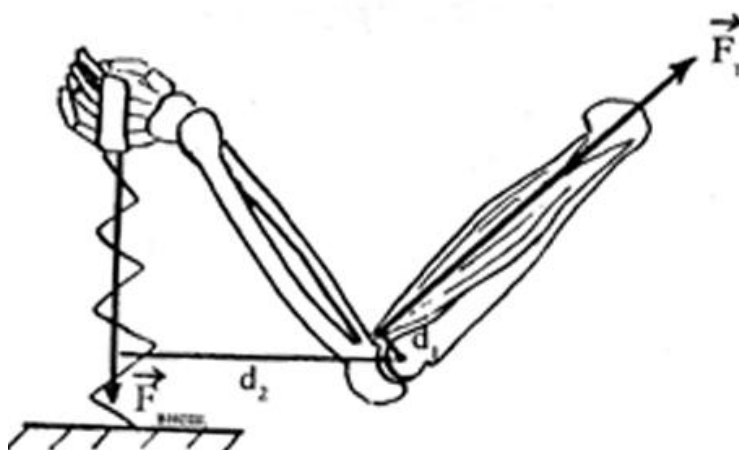


Рисунок 40 – Силы, действующие в ходе суставного движения (Н.Б. Сотский, 2023)

Величина углового ускорения суставного движения зависит не только от силы мышечной тяги, но и от **момента инерции звена**: чем он больше, тем труднее разогнать звено до высокой скорости. Это хорошо прослеживается, например, при выполнении ударов в игровых видах спорта или метаний, где предварительное сгибание

конечности уменьшает момент инерции и позволяет развить более высокую скорость движения в завершающей фазе.

Сила мышечной тяги также изменяется в процессе сокращения и, преимущественно, зависит от ее физиологического поперечника, длины мышцы, состояния ее упругих элементов и скорости сокращения. Наибольшая сила, как правило, развивается при средних значениях длины мышцы, близких к длине покоя. Дополнительное увеличение силы и мощности возможно за счет предварительного растяжения мышцы, что активно используется в спортивной практике. Например, при **прыжке вверх с предварительным подседанием** или в фазе «замаха» перед отталкиванием в спринтерском беге реализуется так называемый уступающе-преодолевающий режим работы мышц, позволяющий использовать энергию упругой деформации.

Скоростно-силовые качества тесно связаны с зависимостью «сила – скорость». Причем чем больше скорость мышечного сокращения, тем меньшую силу тяги может обеспечить работающая мышца. Такая зависимость графически выражается кривой, напоминающей гиперболу (рис. 41). Каждый из ее участков соответствует определенному режиму работы мышцы. Так, участок АВ соответствует так называемому «преодолевающему» режиму работы мышц, при котором момент силы тяги мышцы превосходит суммарный момент сил сопротивления движению, и звено движется в направлении действия момента силы мышечной тяги.

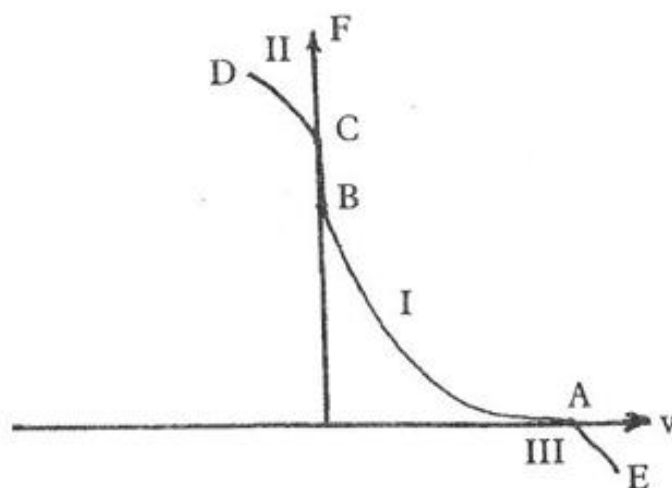


Рисунок 41 – Типичная зависимость силы тяги мышцы от скорости ее сокращения (по В. Б. Коренбергу)

Участок CD соответствует «уступающему» режиму работы мышцы, при котором момент внешнего усилия действует противоположно моменту мышечной тяги, но оказывается сильнее последнего. В данном режиме работы увеличение скорости растягивания активной мышцы сопровождается возрастанием силы тяги мышцы. Величина силы, проявляемой мышцей в уступающем режиме при максимальном ее напряжении, всегда больше, чем в преодолевающем. Последнее объясняется одновременным действием упругих и сократительных элементов, которые в активном состоянии обеспечивают резкое возрастание сопротивления растягиванию с увеличением его скорости.

Участок зависимости ВС соответствует режиму, при котором внешний момент силы оказывается равным моменту мышечной тяги. Указанные моменты сил компенсируют друг друга, в результате чего мышца, несмотря на напряжение, не сокращается и не растягивается. Этот режим называется статическим, или изометрическим.

Участок зависимости АЕ соответствует пассивному сопротивлению мышцы при сближении ее концов со скоростью более высокой, чем максимальная скорость активного мышечного сокращения.

В случае необходимости проявления значительной силы большое значение имеет выбор такого положения и позы тела спортсмена, при котором действующая на него внешняя сила образует оптимальные моменты относительно осей суставов тела. Например, при выполнении классического рывка штанги (рис. 42) последняя располагается так, что сила ее тяжести имеет возможно меньшие моменты (за счет плеч силы) относительно суставов, обеспеченных более слабыми мышцами (плечевых, локтевых, коленных) и более высокие для сильных сочленений (тазобедренных суставов).

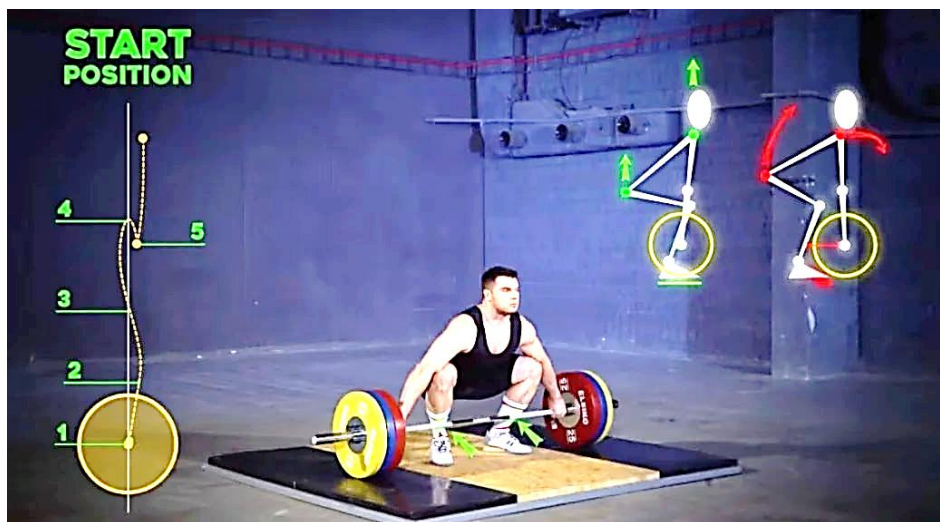


Рисунок 42 – Плечи силы тяжести относительно суставов в начальной фазе при рывке штанги

Особое значение для скоростно-силовых движений имеет **взрывная сила**, характеризующая скорость нарастания мышечного усилия после поступления нервного импульса. Во многих спортивных упражнениях время, за которое необходимо развить значительную силу, ограничено долями секунды. Так, в **спринтерском беге** или **рывке штанги** преимущество получает спортсмен, способный быстрее нарастить усилие, даже при равных максимальных силовых возможностях. Биомеханически это выражается более крутым наклоном кривой зависимости силы от времени.

Таким образом, с биомеханической точки зрения совершенствование скоростно-силовых качеств связано с несколькими ключевыми направлениями: повышением мощности мышечного сокращения, оптимальным выбором позы и суставных углов относительно внешних сил, а также эффективным использованием уступающе-преодолевающих режимов работы мышц. Учет этих закономерностей позволяет целенаправленно повышать спортивные результаты и формировать рациональную технику движений.

3. Биомеханика проявления выносливости при выполнении спортивных движений

При многократном повторении двигательных действий или длительном их выполнении у спортсмена неизбежно возникает утомление, которое в биомеханическом плане проявляется прежде всего в снижении скорости движения и нарушении его структуры. Такая ситуация характерна для циклических видов спорта (бег, плавание, лыжные

гонки, велоспорт), а также для повторного выполнения упражнений различного характера в ходе тренировки.

Способность спортсмена **противостоять утомлению и сохранять заданную скорость движения** принято называть выносливостью. С биомеханической точки зрения выносливость при выполнении спортивных движений тесно связана с возможностью мышцы и всего организма длительно обеспечивать необходимую мощность работы.

Энергообеспечение мышечной работы осуществляется двумя основными путями – **анаэробным** и **аэробным**. Анаэробные механизмы позволяют развивать высокую мощность, необходимую, например, при старте в беге или ускорениях в ходе дистанции, однако их ресурсы ограничены запасами креатинфосфата и гликогена в мышце и не успевают восполняться в процессе работы. Кроме того, при длительном использовании анаэробного пути происходит накопление продуктов метаболизма, что приводит к снижению способности мышцы развивать требуемую мощность.

Аэробный механизм, напротив, обеспечивает меньшую мощность, но позволяет длительно восстанавливать энергетические ресурсы за счет окисления питательных веществ при участии кислорода. Если расход энергии соответствует возможностям ее аэробного восстановления, мышца может работать без снижения скорости очень продолжительное время. Это состояние характерно, например, для бега на длинные дистанции, лыжных гонок или плавания на выносливость.

С биомеханической позиции длительность эффективного выполнения движения зависит от соотношения между требуемой мощностью мышечной работы и мощностью, которая может быть восстановлена аэробным и анаэробным путями. При умеренной мощности, не превышающей аэробные возможности, система находится в устойчивом состоянии. При более высоких нагрузках подключаются анаэробные резервы, и работа приобретает ограниченно устойчивый характер (например, бег на средние дистанции).

Если высокая мощность требуется от одной мышцы или небольшой группы мышц, утомление носит **локальный характер** и проявляется в невозможности повторения суставного движения с заданной скоростью. При выполнении движений, связанных с перемещением тела спортсмена в пространстве, одновременно работают многие мышечные группы, и тогда утомление приобретает **общий характер**. Второе характерно для длительного бега, плавания или гребли, где истощение запасов гликогена и ограничение возможностей кислородного обеспечения приводят к снижению общей скорости движения.

В циклических движениях важную роль в проявлении выносливости играет **рекуперация энергии** – частичное возвращение кинетической энергии звеньев тела в виде потенциальной энергии упругих элементов мышц и сухожилий. Например, в беге при приземлении и последующем отталкивании часть энергии накапливается в упругих структурах мышц и сухожилий нижних конечностей и затем используется в следующем шаге. Эффективность данного механизма обуславливает меньшие энергозатраты и более высокую выносливость.

Хотя потенциальные возможности выносливости определяются энергетическими ресурсами организма, реальное ее проявление в спорте в значительной мере зависит от техники движения. Биомеханически экономичная техника позволяет достигать необходимой скорости перемещения тела при минимальных энергозатратах.

Одним из направлений экономизации является **снижение внешних сопротивлений** за счет обтекаемой позы и рационального инвентаря, что особенно важно в плавании, велоспорте, конькобежном и горнолыжном спорте. Другим направлением является уменьшение избыточных колебаний общего центра тяжести и неоправданных движений звеньев тела, не участвующих непосредственно в решении двигательной задачи.

Например, в беге значительная часть лишних энергозатрат связана с вертикальными колебаниями общего центра тяжести и колебаниями скорости его движения (рис.

43). Ошибки в выполнении элементов динамической осанки, такие как чрезмерная подвижность в коленном суставе опорной ноги или несвоевременное разгибание в голеностопном суставе, приводят к потере горизонтальной скорости и требуют дополнительных энергетических затрат для ее восстановления.

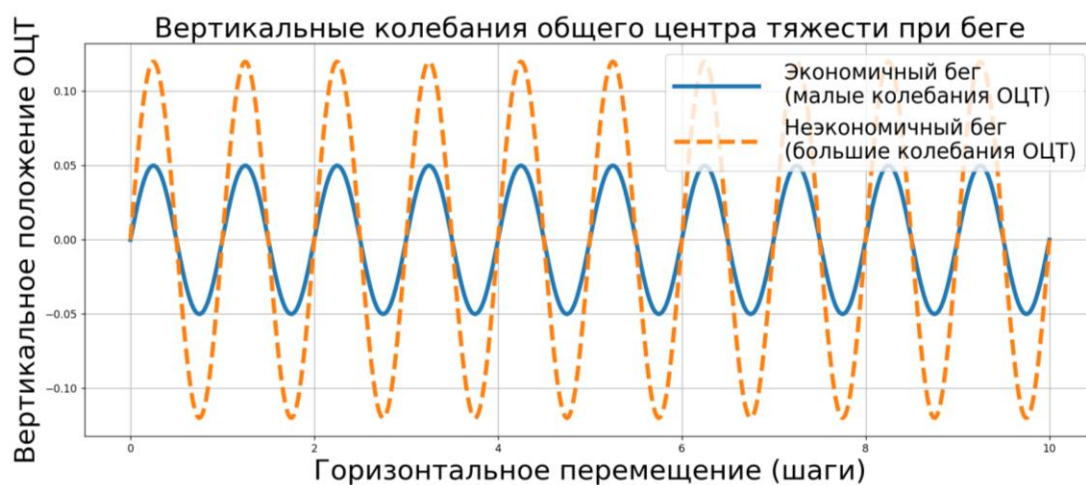


Рисунок 43 – Варианты различий в величине колебаний общего центра тяжести при беге

Таким образом, с биомеханической точки зрения **совершенствование выносливости** при выполнении спортивных движений осуществляется по двум взаимосвязанным направлениям: **повышение энергетического потенциала** мышц и всего организма за счет развития аэробных и анаэробных механизмов энергообеспечения; **совершенствование техники** двигательных действий, направленное на снижение энергозатрат и устранение нерациональных элементов осанки и управляющих движений в суставах.

4. Биомеханические основы гибкости

Гибкость относится к числу базовых двигательных качеств и проявляется в способности человека выполнять движения большой амплитуды, связанные с изменением позы тела. С биомеханической точки зрения гибкость определяется прежде всего подвижностью суставов и возможностями мышечно-связочного аппарата обеспечивать большие изменения суставных углов без нарушения целостности опорно-двигательной системы.

Значение гибкости особенно велико в видах спорта, где оценка результата или эффективность выполнения движения напрямую связаны с амплитудой позы. В гимнастике, художественной гимнастике, синхронном плавании и фигурном катании большая суставная подвижность позволяет спортсмену принимать сложные пространственные положения, повышающие выразительность и техническую ценность элемента. Аналогичную роль гибкость играет в балете и цирковом искусстве, где она является одним из определяющих факторов профессионального мастерства.

В **скоростно-силовых видах** спорта гибкость приобретает функциональный характер. Так, в спринтерском беге, прыжках в длину и высоту высокая подвижность в тазобедренных и голеностопных суставах обеспечивает возможность более полного использования эффективных управляющих движений. Это позволяет, с одной стороны, увеличить вклад суставного движения в формирование скорости общего центра тяжести (ОЦТ), а с другой — достигать оптимальных значений скорости при меньших энергозатратах.

В игровых видах спорта суставная подвижность имеет выраженное прикладное значение. Особенно наглядно это проявляется в деятельности вратаря, где от гибкости

тазобедренных, коленных и голеностопных суставов зависит зона пространства, в пределах которой возможно эффективное отражение мяча. Биомеханически максимальное расстояние, на которое может быть перемещена конечность, определяется длинами звеньев тела и предельными значениями суставных углов (рис. 44). Даже незначительное уменьшение подвижности в одном из суставов приводит к сокращению зоны досягаемости. Например, снижение подвижности в тазобедренных суставах всего на 10° может уменьшить горизонтальное перемещение стопы более чем на 20 см, что критично для игровых ситуаций.

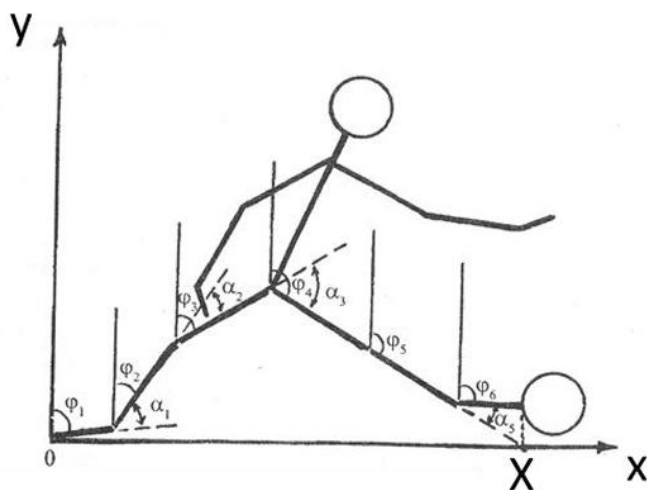


Рисунок 44 – Зависимость перемещения конечности от суставной подвижности (Н.Б. Сотский, 2023)

Биомеханическая роль гибкости проявляется не только в достижении предельных положений, но и в обеспечении **высокой скорости движения звеньев тела**. Скорость перемещения крайней точки кинематической цепи зависит как от угловой скорости суставных движений, так и от расстояния соответствующего сустава до этой точки. Таким образом, увеличение допустимой амплитуды суставного движения при сохранении времени его выполнения позволяет повысить скорость движения без дополнительного увеличения мышечного усилия. В спортивной практике это проявляется, например, в более быстром махе ногой у футболистов.

С точки зрения условий проявления различают **активную и пассивную гибкость**. Активная гибкость характеризует максимальную амплитуду суставного движения, достигаемую за счет собственных мышечных сокращений. Пассивная гибкость связана с воздействием внешних сил – силы тяжести, инерции или усилий партнера – и, как правило, превышает активную. Разность между этими величинами называют **дефицитом активной гибкости**, который служит важным показателем состояния опорно-двигательного аппарата спортсмена. В видах спорта, требующих высокой подвижности, с ростом квалификации дефицит активной гибкости обычно уменьшается.

Графическая интерпретация активной и пассивной гибкости позволяет наглядно раскрыть биомеханическую природу данного различия. На рис. 45 зависимость проявляемых возможностей движения от величины суставного угла показывает, что пассивная гибкость характеризуется большей предельной амплитудой, поскольку движение осуществляется под действием внешних сил и не ограничивается снижением сократительных возможностей мышц. Активная гибкость, напротив, имеет меньший диапазон и ограничивается падением силы мышцы при ее значительном укорочении, а также защитными механизмами нервно-мышечной системы, предотвращающими травмы. Зона

между кривыми активной и пассивной гибкости отражает дефицит активной гибкости, который характеризует степень функционального соответствия силы мышц, их координации и эластических свойств опорно-двигательного аппарата требованиям двигательной деятельности.

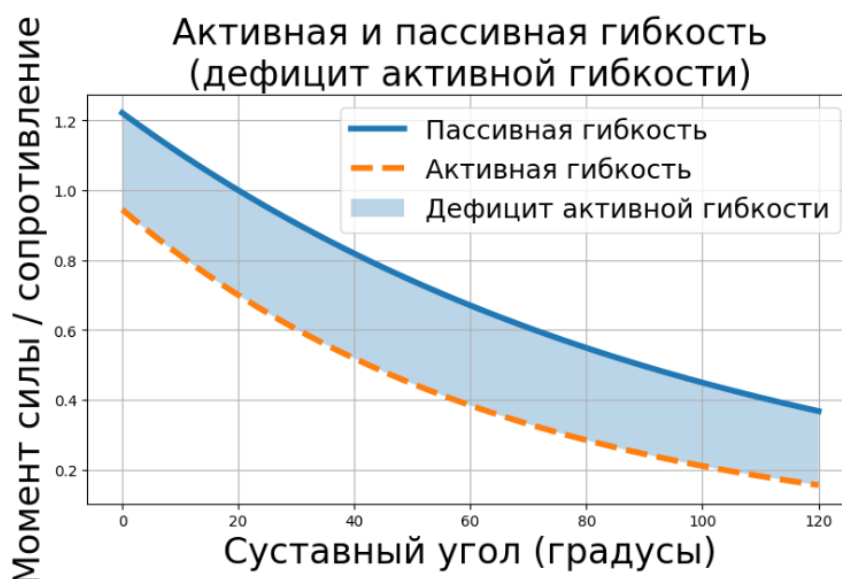


Рисунок 45 – Соотношение активной и пассивной гибкости в суставе (дефицит активной гибкости)

Проявление гибкости существенно зависит от скорости выполнения движения и состояния мышц-антагонистов. При медленном растягивании сопротивление со стороны антагонистов невелико и определяется в основном упругими свойствами мышц и связок. При быстрых движениях активность антагонистов резко возрастает, что приводит к рефлекторному торможению движения и снижению амплитуды. Этот механизм защищает сустав от травм, но одновременно ограничивает возможности быстрого движения большой амплитуды, что необходимо учитывать в тренировочной практике.

Развитие гибкости с биомеханических позиций может осуществляться несколькими путями. Первый связан с повышением эластичности упругих элементов мышц, сухожилий и связок за счет медленных растягивающих упражнений, использующих эффекты ползучести и релаксации. Второй путь – развитие силы мышц, обеспечивающих суставные движения при углах, близких к предельным, что способствует увеличению активной гибкости. Третий путь связан с совершенствованием межмышечной координации, позволяющей более точно управлять включением мышц-антагонистов и расширять диапазон движений без избыточных энергозатрат.

При этом следует учитывать, что чрезмерное увеличение суставной подвижности может сопровождаться снижением силовых возможностей мышц, стабилизирующих сустав. Поэтому в большинстве видов спорта гибкость целесообразно развивать не до анатомического максимума, а с формированием функционального запаса подвижности в пределах рабочих суставных углов, обеспечивающего надежность, точность и эффективность выполнения спортивных движений.

Литература, используемая при написании теоретического раздела

1. Сотский, Н. Б. Биомеханика: учебник / Н. Б. Сотский. – Минск: РИВШ, 2023. – 216 с.
2. Зданевич, А. А. Биомеханика : учебно-методический комплекс / А. А. Зданевич, Л. В. Шукевич ; под общ. ред. А. А. Зданевича. – Брест : БрГУ имени А.С. Пушкина, 2020. – 218 с.
3. Джаилов, А. А. Биомеханика двигательной деятельности : электронное учебное пособие / А.А. Джаилов, К.Л. Меркурьев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – 178 с.
4. Загrevский, В. И. Биомеханика физических упражнений : учебное пособие / В. И. Загrevский, О. И. Загrevский. – Томск : Издательский дом Томского государственного университета, 2018. – 262 с.
5. Криевич, Т. О. Биомеханика : электронный учебно-методический комплекс / Т. О. Криевич, В. А. Касько, Н. Г. Соловьева ; Минск : БГУПУ имени Максима Танка, 2019. – 215 с.
6. McGinnis, P. M. Biomechanics of Sport and Exercise : 3rd ed. Champaign, Illinois, U.S.A. : Human Kinetics, 2013. – 460 p.
7. Позюбанов, Э. П. Кинематика легкоатлетических упражнений : монография / Э. П. Позюбанов ; М-во спорта и туризма Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т физ. культуры. – Минск : БГУФК, 2023. – 251 с.
8. Давыдова, Н. С. Алгоритм анализа кинематических характеристик бега / Н. С. Давыдова [и др.] // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2020. – Т. 18. – №. 8. – С. 37–45.
9. Ермаков, С. С. Теоретическое и экспериментальное определение биомеханических характеристик бега / С. С. Ермаков, В. М. Адащевский, О. А. Сиволап // Физическое воспитание студентов. – 2010. – №. 4. – С. 26–29.
10. Медведев, В. Г. Биомеханизмы отталкивания т опоры в прыжковых упражнениях / В. Г. Медведев // Теория и практика физической культуры. – 2013. – №. 5. – С. 82–82.
11. Загrevский, В.И. Предмет и методы биомеханики, биомеханические методы исследования: Методическая разработка. – Могилев: МГУ им. А.А. Кулешова, 2001. – 24 с.
12. Рудаков, Р. Н. Динамика спортивных снарядов и спортсменов в сопротивляющейся среде / Р.Н. Рудаков // Российский журнал биомеханики. – 2007. – №. 4. – С. 61–83.
13. Чжао, Ю. Об элементах динамической осанки и управляющих движениях спортсменки при атаке барьера на дистанции 400 м / Ю. Чжао, Н. Б. Сотский, О. Н. Козловская // Мир спорта. – 2023. – № 4(93). – С. 28–31.

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Лабораторная работа. Выбор физического упражнения для анализа, подбор данных для биомеханического исследования

Цель работы: овладеть методом оптической регистрации физического упражнения на основе видеосъемки.

Теоретические сведения

В ходе биомеханических исследований важнейшим элементом является получение объективных экспериментальных данных, характеризующих двигательное действие. Такие данные могут быть получены различными способами. В основе наиболее универсального метода лежит определение координат точек движущегося объекта (тела спортсмена) через минимально возможные промежутки времени. Затем из полученного материала вычисляются практически все характеристики двигательного действия, начиная от скоростей и ускорений, интересующих исследователя точек и заканчивая энергетическими параметрами двигательного действия. Здесь, как правило, используются различные варианты оптической регистрации спортивного упражнения. Еще двадцать лет назад классическими методиками регистрации спортивных движений являлись киносъемка, циклографический и стробоскопический варианты фотосъемки. При изучении сложных пространственных вариантов двигательных действий перечисленные методы могут иметь двух-, трехплоскостной или стереоскопический варианты (рис. 46).

Упомянутые подходы имели приемлемую точность, однако они весьма трудоемки, а результаты могут быть получены только через достаточно длительное время, необходимое для последующей обработки кино или фото материалов.

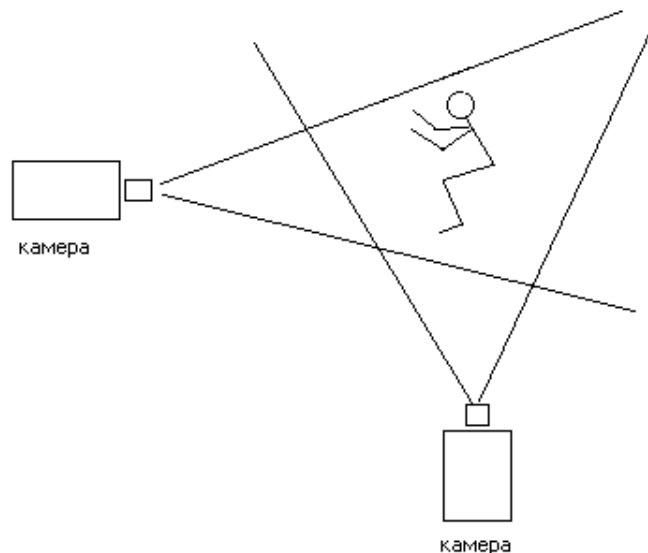


Рисунок 46 – Схема осуществления двухплоскостной съемки

В настоящее время перечисленные варианты получения экспериментальных результатов существенно продвинулись вперед, благодаря развитию цифровой видеозаписи и компьютерных технологий. При использовании таких подходов интересующие исследователя данные могут быть получены практически в реальном масштабе времени.

При этом современные видеокамеры позволяют разбивать реальное движение на кадры с частотой до 100000 и более кадров в секунду.

При осуществлении оптических методов регистрации биомеханических характеристик двигательного действия должен быть выполнен ряд предварительных действий.

1. Подготовка места съемки. Она включает определение зоны выполнения физического упражнения, места установки записывающей аппаратуры, высоты установки и направления оптической оси. Для биомеханического исследования записывающая камера, как правило, с помощью штатива устанавливается на уровне общего центра тяжести тела спортсмена так, чтобы оптическая ось была перпендикулярна плоскости его движения. При пространственных вариантах съемки несколькими камерами их оптические оси ориентируются перпендикулярно по отношению друг к другу. Съемку, осуществляемую в лабораторных условиях, рекомендуется производить по отношению к специально подготовленному фону, на котором могут быть отчетливо видны характерные точки тела спортсмена, в частности, суставы. Традиционно в качестве фона используется сетка, нанесенная на стену или щит контрастного, по отношению к ней цвета. Сетка часто используется для определения масштаба. При отсутствии сетки в кадр помещается масштабная рейка или предмет, имеющий известные линейные размеры. При осуществлении видеозаписи, предназначенной для последующего биомеханического анализа, осуществляемой на соревнованиях в условиях стадионов или спортивных залов для определения масштаба можно использовать элементы их разметки.

2. Подготовка исполнителей. При осуществлении съемки в лабораторных условиях исполнителю исследуемого двигательного действия необходимо иметь на себе минимум одежды, причем ее элементы должны быть максимально прилегающими к телу. Перед съемкой на тело спортсмена и на элементы одежды наносятся специальные маркеры. Как правило, это кружки контрастного цвета, которые прикрепляют в центрах суставов. Иногда (если выполняется сложное движение) используют полосы, охватывающие звенья тела на уровне центров суставов и центров тяжести звеньев. Для осуществления автоматической компьютерной обработки видеосъемки маркеры делают различных цветов, что позволяет компьютерной программе самой распознавать суставы и другие точки.

3. Подготовка видеоаппаратуры. При осуществлении видеосъемки точная настройка записывающей аппаратуры играет важнейшую роль. Она включает в себя установку камеры и ее надежную фиксацию на штативе, установку частоты съемки, чувствительности, резкости, размеров кадра, оценку достаточности объема памяти записывающей аппаратуры, осуществление пробной записи, оценку результатов и при необходимости коррекцию указанных параметров.

При выполнении описанных операций осуществление видеозаписи не представляет сложностей, а полученные материалы в виде файла могут быть перенесены в компьютер и использованы в процессе биомеханического исследования.

При обработке данных оптической регистрации точность получения кинематических характеристик зависит от частоты съемки, качества используемой аппаратуры и точности расположения маркеров. Во время дальнейшего биомеханического анализа она в некоторой степени снижается из-за отсутствия точных данных масс-инерционных характеристик тела исполнителя. Здесь, как правило, используются усредненные параметры в зависимости от роста и веса исполнителя. Кроме этого в ходе анализа тело исполнителя чаще всего представляется моделью, состоящей из связанных между собой абсолютно твердых звеньев, что не вполне соответствует реальному телу человека. Тем не менее, указанные допущения позволяют достаточно эффективно анализировать принципы построения двигательных действий и решать многие педагогические задачи, связанные с обучением спортивным упражнениям, развитием двигательных качеств и многими другими аспектами.

Порядок выполнения работы

1. **Выбор объекта для биомеханического исследования.** Это может быть физическое упражнение целиком, его цикл или какая-либо фаза, выполнение которой происходит в одной плоскости.

2. **Подготовка места съемки.** Определить зону выполнения упражнения, направление и безопасные границы перемещения исполнителя, относительно предполагаемого места установки камеры. При съемке в лаборатории обеспечить контрастный фон съемки, с помощью мела отметить на основании эталонное расстояние, с помощью которого впоследствии будет определяться масштаб.

3. **Подготовка исполнителя.** Показать исполнителю направление движения относительно камеры. Договориться о командах начала и окончания съемки; обеспечить соответствующую форму одежды, закрепить на теле и (или) элементах одежды маркеры.

4. **Подготовка аппаратуры.** Установить штатив, надежно закрепить на нем камеру. Отрегулировать с помощью штатива высоту камеры, располагая ее на уровне общего центра тяжести тела исполнителя (если упражнение предполагает перемещение исполнителя по вертикали, камеру следует установить по высоте на уровне среднего положения общего центра тяжести при выполнении двигательного действия).

5. **Настройка камеры.** Установить исполнителя в исходное положение, навести на него камеру и убедиться, что при выполнении двигательного действия он не выходит за пределы кадра. Если размеры кадра не позволяют целиком запечатлеть упражнение, камеру следует отнести на большее расстояние. Если движение спортсмена помещается в кадре с большим запасом, можно с помощью трансфокатора установить более крупный план съемки. Проверить установленную частоту съемки, навести резкость, и убедиться в достаточной освещенности объекта.

6. **Выполнение съемки.** Нажать кнопку записи видео и *только после этого дать команду «СТАРТ»* на исполнение двигательного действия. Такой порядок связан с тем, что камера включается с некоторой задержкой (в пределах 0,5 с). После завершения двигательного действия следует дать команду «СТОП» и повторно нажать кнопку записи видео.

7. **Просмотр записи.** Нажать зеленую кнопку, расположенную над экраном. Кнопкой SET, расположенной справа от экрана запустить просмотр. Оценить качество съемки. Нажатием красной кнопки, расположенной над экраном, перейти в рабочий режим и при необходимости провести повторную съемку.

8. **Сохранение материалов.** Снять камеру со штатива. Соединить включенную камеру с компьютером с помощью специального кабеля. Открыть карту памяти камеры. Найти отснятый материал и перенести его на свою флеш-карту. Используя «безопасное извлечение устройства», остановить взаимодействие камеры и компьютера, достать соединительный кабель из гнезд компьютера и камеры. Кнопкой «ON/OFF», расположенной на верхней панели отключить камеру.

Лабораторная работа. Определение скорости и угла вылета точки по опорным реакциям

Цель работы: научиться определять скорость и угол вылета точки по опорным реакциям

Исходные данные. Горизонтальная и вертикальная составляющие опорной реакции (R_x, R_y). Масса тела испытуемого (m). Горизонтальная скорость общего центра тяжести тела испытуемого в момент наступания на опору (V_{xo}).

Ход работы. 1. На R_y из точки, соответствующей ударному экстремуму опустить перпендикуляр к оси \underline{X} (в этот момент вертикальная скорость общего центра тяжести тела при амортизации снижается до нуля).

2. На R_y через точку, соответствующую массе тела испытуемого провести перпендикуляр к оси \underline{Y} (усилия меньше этого уровня не могут увеличить вертикальную скорость общего центра тяжести тела).

3. Выбрать размер стороны квадрата и расчертить обе тензодинамограммы: R_x полностью, R_y выше и правее проведенных линий.

4. Сосчитать количество эталонных площадей (n) на каждой из тензодинамограмм. На R_x количество квадратов ниже и выше оси \underline{X} считать отдельно (они соответствуют импульсам торможения и отталкивания).

5. Произвести измерения на одной из тензодинамограмм и используя формулу 1 рассчитать коэффициент перевода в размерность импульса силы (k).

6. Перевести k в систему СИ: $k \cdot 9,81$.

7. Рассчитать величину вертикальной составляющей скорости вылета общего центра тяжести тела (V_y):

$$V_y = k n_y / m, \text{ м/с} \quad (1)$$

8. Рассчитать величину горизонтальной составляющей скорости вылета ОЦТ (V_x):

$$V_x = V_{xo} + k(n_{omm} - n_{орм}) / m, \text{ м/с} \quad (2)$$

9. Выбрать масштаб изображения векторов скорости (1 см = n м/с). Начертить векторы и сложить их по правилу параллелограмма.

10. Измерением на чертеже определить результирующую скорость и угол вылета.

Пример

Дано: R_x и R_y (рис. 47), $m = 72$ кг, $V_{xo} = 6,92$ м/с.

$\underline{X} = 0,136$ с. $\underline{Y} = 400$ кг.

$a = 5$ мм.

$x = 87$ мм. $y = 52$ мм.

$k = 0,3$ кгс.

Переводим k в систему СИ:

$0,3 \times 9,81 = 2,943$ (нс).

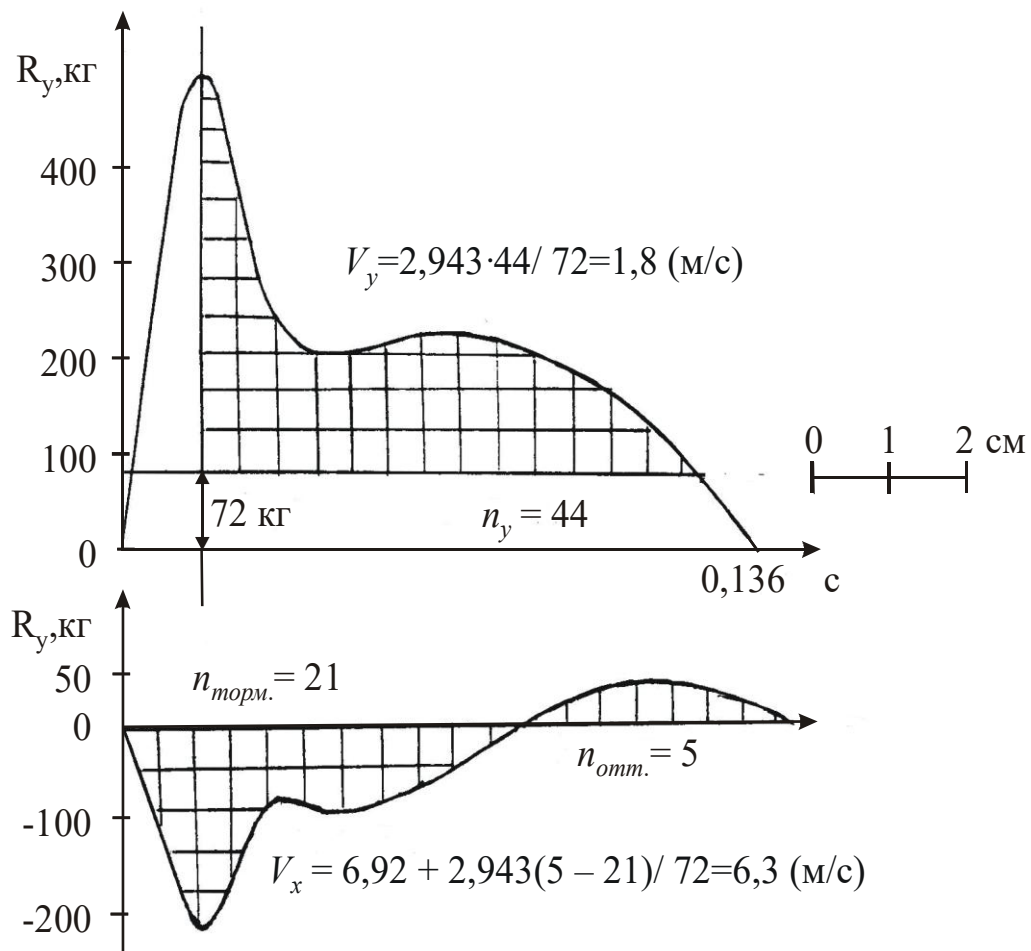


Рисунок 47 – Иллюстрация метода графического интегрирования при определении скорости вылета общего центра тяжести тела по опорным реакциям

Пусть масштаб изображения векторов скорости будет равен 1:100 (1 см = 1 м/с). Выполняем графическое построение. Сложением вертикальной и горизонтальной скоростей строим результирующую (рис. 48). Длина результирующей на чертеже 6,6 см.

Следовательно, скорость вылета ОЦТ равна 6,6 м/с. Угол вылета α равен 16° .

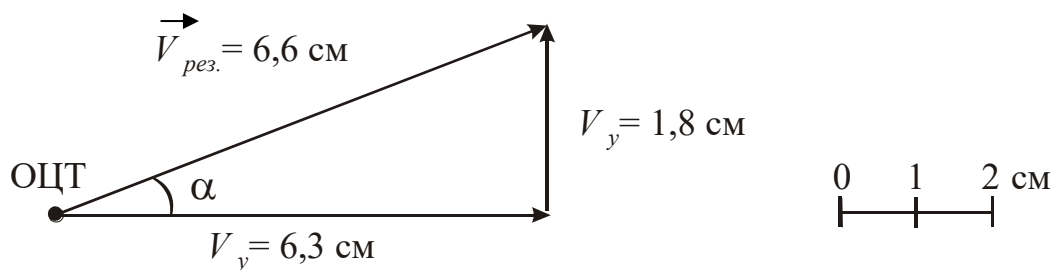


Рисунок 48 – Графоаналитическое определение скорости и угла вылета общего центра тяжести тела

Лабораторная работа. Определение эффективности спортивной техники

Цель работы: освоить метод оценки эффективности техники спортивного упражнения на основе биомеханических показателей и уравнений множественной регрессии, а также научиться интерпретировать расхождения между расчетными и фактическими спортивными результатами.

Теоретические сведения

Результат в толкании ядра определяется не только уровнем силовой и скоростно-силовой подготовленности спортсмена, но и **эффективностью реализации этих качеств в технике движения**. Для количественной оценки вклада техники в спортивный результат используется метод **множественной регрессии**, позволяющий связать результат соревновательного упражнения с показателями специальной физической и биомеханической подготовленности.

В данной работе используются два уравнения множественной регрессии (рис. 49), полученные, которые позволяют рассчитать **ожидаемый результат** в толкании ядра при заданных тестовых показателях. Данные уравнения отражают типичные закономерности влияния показателей физической подготовленности на результат в толкании ядра. Коэффициенты регрессии подобраны таким образом, чтобы обеспечить реалистичные значения расчетного результата и продемонстрировать метод оценки эффективности техники.

Первая регрессионная модель

$$Y_{\text{расч.1}} = -5,20 + 0,018X_1 + 0,012X_2 + 0,45X_3 + 0,030X_4 + 0,62X_5$$

Вторая регрессионная модель

$$Y_{\text{расч.2}} = -4,10 + 0,015X_1 + 0,014X_2 + 0,40X_3 + 0,025X_4 + 0,70X_5$$

Рисунок 49 – Уравнения множественной регрессии

Показатели уравнений: $Y_{\text{расч.1}}$, $Y_{\text{расч.2}}$ – ожидаемый результат в толкании ядра с разбега (м), X_1 – максимум при жиме штанги лежа (кг), X_2 – максимум в приседании со штангой (кг), X_3 – дальность метания набивного мяча 3 кг (м), X_4 – прыжок в длину с места (см), X_5 – тройной прыжок (м), $Y_{\text{действ.}}$ – фактический результат в толкании ядра (м).

Исходные данные. В качестве исходных данных для выполнения лабораторной работы используются результаты тестирования 20 спортсмена, а также математические модели, описывающие зависимость спортивного результата от уровня развития физических и технико-двигательных показателей.

Для оценки ожидаемого результата в толкании ядра с разбега применяются **уравнения множественной регрессии** (рис. 49), связывающие дальность толкания ядра Y с результатами пяти тестов X_1 – X_5 , характеризующих силовые, скоростно-силовые и координационные возможности спортсменов.

Результаты тестирования представлены в табл. 1 и включают значения следующих показателей:

- X_1 – силовой показатель (кг);
- X_2 – силовой показатель (кг);
- X_3 – скоростно-силовой показатель (м);
- X_4 – скоростно-силовой показатель (см);
- X_5 – координационно-двигательный показатель (м);
- $Y_{\text{действ.}}$ – фактический результат в толкании ядра с разбега (м).

Таблица 1 – Данные тестирования и действительные результаты в толкании ядра

№	X ₁ , кг	X ₂ , кг	X ₃ , м	X ₄ , см	X ₅ , м	У действ., м
1	2	3	4	5	6	7
1	90	135	10,2	240	7,1	11,8
2	95	145	10,8	248	7,4	12,6
3	100	150	11,5	255	7,8	13,4
4	105	160	11,9	262	8,0	14,1
5	110	165	12,3	268	8,2	14,6
6	115	175	12,7	272	8,4	15,2
7	120	185	13,2	278	8,6	16,1
8	98	148	11,0	250	7,6	13,0
9	102	155	11,6	258	7,9	13,8
10	108	165	12,0	265	8,1	14,4
11	112	170	12,4	270	8,3	14,9
12	118	180	12,9	275	8,5	15,7
13	92	140	10,5	245	7,3	12,1
14	97	148	10,9	252	7,5	12,8
15	103	158	11,7	260	7,9	13,9
16	109	168	12,2	267	8,2	14,7
17	114	175	12,6	272	8,4	15,3
18	88	130	9,8	235	6,9	11,5
19	94	142	10,6	248	7,4	12,4
20	121	190	13,4	282	8,6	16,8

Для интерпретации разности между действительным и расчетным результатами используется таблица критериев эффективности техники толкания ядра (табл. 2), позволяющая отнести технику выполнения упражнения к одной из качественных категорий.

Полученные расчетные значения и их сопоставление с фактическими результатами служат основанием для **оценки эффективности техники толкания ядра** и формулировки заключения по результатам лабораторной работы.

Таблица 2 – Критерии оценки эффективности техники толкания ядра

Разность между действительным и ожидаемым результатом	Обозначение	Оценка эффективности техники	Биомеханическая интерпретация
$\Delta Y \geq +0,50$ м	Высокая положительная	Высокая эффективность техники	Спортсмен реализует скоростно-силовой потенциал на уровне, превышающем ожидаемый по результатам тестирования; техника движения рациональна и экономична
$+0,10 \leq \Delta Y < +0,50$ м	Умеренная положительная	Хорошая эффективность техники	Техника в целом адекватна уровню физической подготовленности, имеются отдельные резервы для ее совершенствования

$-0,10 < \Delta Y < +0,10$ м	Близка к нулю	Средняя эффективность техники	Реализация физических возможностей соответствует прогнозируемому уровню; техника стабильна, но не обеспечивает дополнительного прироста результата
$-0,50 \leq \Delta Y \leq -0,10$ м	Умеренная отрицательная	Низкая эффективность техники	Наблюдается неполная реализация скоростно-силовых возможностей; вероятны ошибки в структуре движения или нарушенная координация
$\Delta Y < -0,50$ м	Выраженная отрицательная	Очень низкая эффективность техники	Существенные биомеханические недостатки техники; физический потенциал спортсмена используется нерационально

Ход работы. 1. Для каждого спортсмена подставить значения X_1 – X_5 из табл. 1 в уравнения на рис. 49 и рассчитать ожидаемые результаты.

2. Определить разности между действительным и ожидаемыми результатами (рис. 50).

$$\Delta Y_1 = Y_{\text{действ.}} - Y_{\text{расч.1}}$$

$$\Delta Y_2 = Y_{\text{действ.}} - Y_{\text{расч.2}}$$

Рисунок 50 – Формулы для расчета разностей действительных и ожидаемых результатов

3. Сопоставить полученные значения ΔY_1 и ΔY_2 с критериями оценки эффективности техники, приведенными в табл. 2.

4. На основании величины и знака разностей **сделать вывод** об эффективности техники толкания ядра: техника высокоэффективная, техника средней эффективности, техника недостаточно эффективная. **Сформулировать обобщенное заключение** об уровне технической подготовленности спортсмена с учетом результатов обеих регрессионных моделей.

Контрольный вопрос. Возможны ли существенные различия в оценке эффективности техники толкания ядра при использовании разных уравнений множественной регрессии? Обоснуйте ответ с позиций биомеханики и ограничений математического моделирования спортивных движений.

Лабораторная работа. Определение положения общего центра тяжести тела аналитическим способом

Цель работы: овладеть аналитическим способом определения положения общего центра тяжести тела.

Исходные данные. Промер фазы физического упражнения. Масса тела человека.

Ход работы. 1. Заготовить бланк таблицы 4 (смотреть ниже) расчета положения общего центра тяжести тела.

2. Во всех таблицах заполнить все графы.

3. Рассчитать абсолютные веса звеньев тела:

4. Измерить на промере длины звеньев тела (кроме головы и кистей рук). Данные записать в графу 4.

5. Рассчитать величины радиусов центров тяжести звеньев тела на промере: $R_{цт.} = l \cdot R_{цт.отн.}$ (l – длина звена). Результаты записать в гр. 6.

6. Отметить центры тяжести звеньев тела на промере.

7. Определить координаты центров тяжести звеньев тела на промере, включая голову и кисти рук. Данные записать в графы 7 и 9.

8. Рассчитать моменты силы тяжести (p_x и p_y) звеньев тела, перемножив соответствующие строки граф 3 и 7, 3 и 9. Результаты записывать в гр. 8 и 10 соответственно.

9. Рассчитать суммы моментов силы тяжести (Σp_x и Σp_y).

10. Рассчитать координаты общего центра тяжести тела. Отметить положение общего центра тяжести тела на промере.

Пример. Дано: координаты опорных точек (табл. 3), масса тела 45 кг. Построить схему тела. Определить положение ОЦТ тела. Пример схемы тела на рисунке 50.

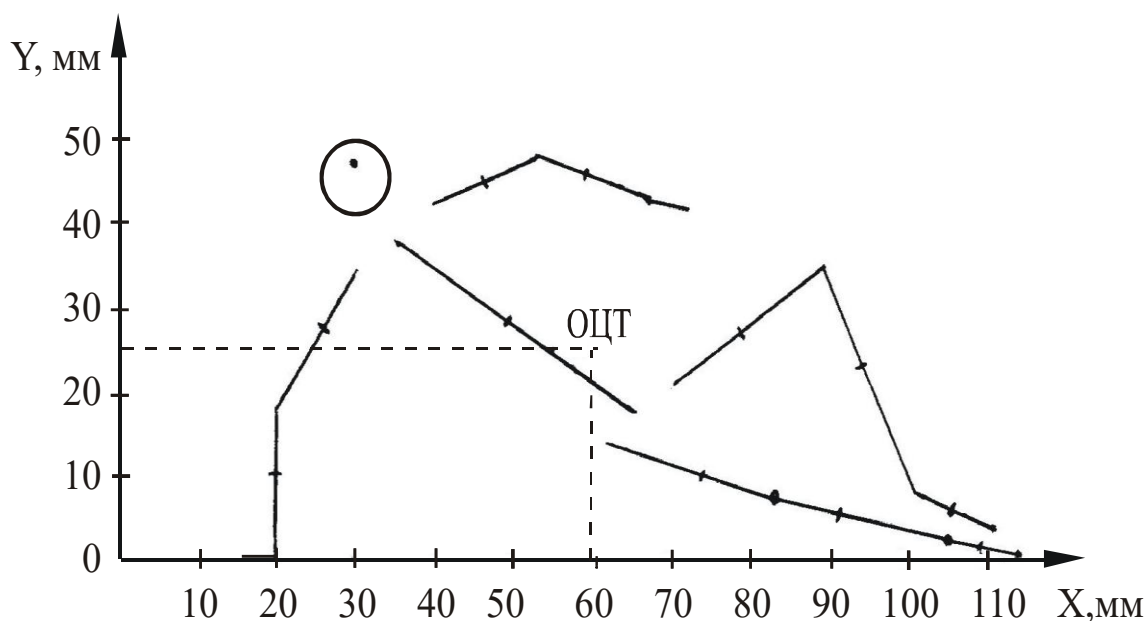


Рисунок 50 – 14-звенная схема тела с отметками центров тяжести звеньев и общего центра тяжести тела

Ниже в таблице 3 представлены координаты опорных точек для построения схемы тела.

Таблица 3 – Координаты опорных точек, мм

Вариант	сторона	ось	\underline{g}_c	\underline{b}	\underline{a}	\underline{m}	\underline{g}_m	\underline{f}	\underline{s}	\underline{p}	\underline{d}
1	правая	\underline{X}	$\underline{30}$	$\underline{30}$	$\underline{20}$	$\underline{20}$	$\underline{15}$	$\underline{60}$	$\underline{85}$	$\underline{105}$	$\underline{115}$
		\underline{Y}	45	33	18	0	0	15	7	2	0
	левая	\underline{X}	–	$\underline{40}$	$\underline{53}$	$\underline{67}$	$\underline{72}$	$\underline{70}$	$\underline{90}$	$\underline{102}$	$\underline{112}$
		\underline{Y}	–	40	45	42	40	20	33	8	3
2	правая	\underline{X}	$\underline{55}$	$\underline{45}$	$\underline{25}$	$\underline{5}$	$\underline{5}$	$\underline{45}$	$\underline{25}$	$\underline{45}$	$\underline{30}$
		\underline{Y}	125	110	90	90	100	55	35	15	0
	левая	\underline{X}	–	$\underline{65}$	$\underline{85}$	$\underline{105}$	$\underline{105}$	$\underline{65}$	$\underline{80}$	$\underline{105}$	$\underline{120}$
		\underline{Y}	–	110	90	90	100	55	35	10	25
3	правая	\underline{X}	$\underline{55}$	$\underline{25}$	$\underline{25}$	$\underline{15}$	$\underline{0}$	$\underline{45}$	$\underline{25}$	$\underline{25}$	$\underline{5}$
		\underline{Y}	125	90	70	70	110	55	35	0	0
	левая	\underline{X}	–	$\underline{85}$	$\underline{85}$	$\underline{95}$	$\underline{130}$	$\underline{65}$	$\underline{90}$	$\underline{90}$	$\underline{110}$
		\underline{Y}	–	90	70	70	110	55	55	20	20

Таблица 4 – Расчет координат общего центра тяжести

Звено	P, %	P, кг	l, мм	R _{цт.отн.}	R _{цт.} мм	\underline{X} , мм	\underline{PX} , кг мм	\underline{Y} , мм	\underline{PY} , кг мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
голова	7		–	–	–				
туловище	43			0,44					
плечо правое	3			0,47					
плечо левое	3			0,47					
предпл. прав.	2			0,47					
предпл. левое	2			0,42					
кисть правая	1		–	–	–				
кисть левая	1		–	–	–				
бедро правое	12			0,44					
бедро левое	12			0,44					
голень правая	5			0,42					
голень левая	5			0,42					
стопа правая	2			0,44					
стопа левая	2			0,44					

Лабораторная работа. Изучение временных характеристик физического упражнения с использованием программы «Kinovea»

Цель работы: научиться определять временные характеристики физического упражнения (на примере тройного прыжка) и использованием компьютерной программы «Kinovea».

Исходные данные. Видеозапись с нарезкой попыток в тройном прыжке (ЧМ по легкой атлетике 2024 года).

Ход работы. 1. Открыть программу «Kinovea» и загрузить на рабочий стол видеозапись тройного прыжка.

2. Открыть загруженное видео в программе «Kinovea» и выставить в настройках программы время в миллисекундах.

3. Создать файл с табл. 5 в файле Excel на рабочем столе.

Таблица 5 – Временные характеристики тройного прыжка

Имя / Попытка	Время скачка (мс)	Время шага (мс)	Время прыжка (мс)	Результат (м)
1				
2				
...				
10				
Среднее (мс, м)				
Стандартное квадратичное отклонение (мс)				
Корреляция времени элемента и результата				

4. Рассчитать время каждого элемента тройного прыжка в десяти любых попытках (спортсмены могут повторяться) и записать в таблицу. Найти результаты прыжков в видеозаписи и внести их в таблицу.

5. Рассчитать средние значения каждой из колонок по десяти проанализированным попыткам (в Excel и записать в тетрадь).

6. Рассчитать стандартное квадратичное отклонение значений каждой из колонок по десяти проанализированным попыткам (в Excel и записать в тетрадь).

7. Провести корреляционный анализ (критерий Пирсона) времени каждого элемента тройного прыжка с результатом прыжка (в Excel и записать в тетрадь).

8. Ответить на вопросы в тетради:

а) Какой элемент тройного прыжка характеризуется наибольшей средней продолжительностью и какие механические и координационные факторы это определяют?

б) Какой элемент тройного прыжка обладает наибольшей вариативностью времени выполнения (по величине стандартного квадратичного отклонения)? С чем может быть связана повышенная вариативность данного элемента?

в) Между временем какого элемента тройного прыжка и результатом была выявлена наибольшая по модулю корреляционная связь? Какие выводы о технике выполнения прыжка можно сделать на основании этого факта?

г) Почему увеличение времени выполнения отдельного элемента тройного прыжка не всегда приводит к улучшению результата? Приведите биомеханическое объяснение.

Лабораторная работа. Изучение угловых характеристик физического упражнения с использованием программы «Kinovea»

Цель работы: научиться анализировать угловые характеристики физического упражнения (на примере тройного прыжка) и использованием компьютерной программы «Kinovea».

Исходные данные. Видеозапись с нарезкой попыток в тройном прыжке (ЧМ по легкой атлетике 2024 года).

Ход работы. 1. Открыть программу «Kinovea» и загрузить на рабочий стол видеозапись тройного прыжка.

2. Открыть загруженное видео в программе «Kinovea» и выставить в настройках программы время в миллисекундах.

3. Создать файл с таблицей 6 в файле Excel на рабочем столе.

Таблица 6 – Угловые характеристики тройного прыжка

Имя / попытка	Угол в коленном суставе маховой ноги на скачке (°)	Угол в коленном суставе маховой ноги во время шага (°)	Угол в коленном суставе маховой ноги во время прыжка (°)	Результат (м)
1				
10				
Среднее (°, м)				
Стандартное квадратичное отклонение (°)				
Корреляция времени элемента и результата				

4. Рассчитать угловые характеристик каждого элемента тройного прыжка в десяти любых попытках (спортсмены могут повторяться) и записать в таблицу. Найти результаты прыжков в видеозаписи и внести их в таблицу.

5. Рассчитать средние значения каждой из колонок по десяти проанализированным попыткам (в Excel и записать в тетрадь).

6. Рассчитать стандартное квадратичное отклонение значений каждой из колонок по десяти проанализированным попыткам (в Excel и записать в тетрадь).

7. Провести корреляционный анализ записанных угловых характеристик каждого элемента тройного прыжка с итоговым результатом (в Excel и записать в тетрадь).

8. Ответить на вопросы в тетради:

а) Каково биомеханическое значение углов в коленном суставе маховой ноги при выполнении скачка, шага и прыжка в тройном прыжке? Как изменение суставных углов влияет на условия отталкивания и полета?

б) Во время какого элемента тройного прыжка среднее значение угла в коленном суставе маховой ноги оказалось наибольшим? С какими задачами данного элемента это может быть связано?

в) Какой элемент тройного прыжка характеризуется наибольшей вариативностью угла в коленном суставе (по величине стандартного квадратичного отклонения)? Какие координационные и силовые факторы могут обуславливать эту вариативность?

г) Между углом в коленном суставе маховой ноги какого элемента тройного прыжка и результатом была выявлена наиболее сильная корреляционная связь? Какие выводы об эффективности техники выполнения данного элемента можно сделать?

Лабораторная работа. Определение зависимости эффективности выполнения двигательного действия от исходного положения

Цель работы: экспериментально определить влияние исходного положения тела, характеризуемого углом в коленном суставе перед началом финальной фазы отталкивания, на высоту вертикального прыжка.

В ходе выполнения лабораторной работы студент должен:

- освоить методику измерения высоты вертикального прыжка с использованием программы «My Jump»;
- научиться определять углы в коленном суставе по видеозаписи с помощью программы «Kinovea»;
- установить характер зависимости между углом в коленном суставе и высотой прыжка;
- оценить достоверность различий результатов прыжка из различных исходных положений;
- объяснить выявленные закономерности с позиций биомеханики скоростно-силовых движений.

Исходные данные:

- видеозаписи вертикальных прыжков вверх, выполненных студентами в ходе учебного занятия;
- мобильное приложение **My Jump** для определения высоты прыжка;
- компьютерная программа **Kinovea** для измерения углов в коленном суставе;
- электронные таблицы (MS Excel или аналог) для статистической обработки данных.

Важно! Перед прыжками выполнить несколько общеразвивающих упражнений для нижних конечностей. Все прыжки должны осуществляться в полную силу.

Экспериментальные условия

Каждый студент выполняет вертикальные прыжки вверх на двух ногах **из четырех различных исходных положений** (табл. 7), отличающихся углом в коленном суставе:

- минимальное сгибание ног в коленных суставах;
- удобное (естественное) для себя положение;
- положение острого угла в коленном суставе;
- положение полного приседа.

Таблица 7 – Таблица для заполнения результатов по высоте вертикального прыжка

Имя студента	Из положения минимального сгибания ног в коленных суставах (см)	Из удобного для себя положения (см)	Из положения острого угла в коленном суставе (см)	Из положения полного приседа (см)
1				
2				
...				
Среднее (см)				

Корреляция между углом и результатов (функция КОРРЕЛ)				
Достоверность различий по t-критерию Стьюдента (функция ТТЕСТ)				

Таблица 8 – Таблица для углов в коленном суставе перед финальной фазой прыжка

Имя студента	Из положения минимального сгибания ног в коленных суставах	Из удобного для себя положения	Из положения острого угла в коленном суставе	Из положения полного приседа
1				
2				
....				
Среднее (°)				
Достоверность различий по t-критерию Стьюдента (функция ТТЕСТ)				

Ход работы.

1. Скачать и открыть программу «My Jump» на мобильном телефоне.
2. Зафиксировать видеозаписи четырех вертикальных прыжков вверх из различных исходных положений.

3. Определить высоту каждого прыжка с помощью программы «My Jump».

4. Проанализировать те же видеозаписи в программе «Kinovea» и определить угол в коленном суставе перед началом финальной фазы отталкивания.

5. Заполнить таблицы 7 и 8.

6. Рассчитать средние значения высоты прыжка и углов в коленном суставе, корреляцию между углом в коленном суставе и высотой прыжка, достоверность различий результатов прыжков из различных исходных положений (t-критерий Стьюдента).

7. Полученные результаты оформить в тетради и подготовить выводы.

8. Вопросы:

а) Из какого исходного положения была достигнута наибольшая высота вертикального прыжка? Какому диапазону углов в коленном суставе это соответствует?

б) Каков характер корреляционной связи между углом в коленном суставе и высотой вертикального прыжка? Почему эта связь может быть слабой или умеренной?

в) Между какими исходными положениями были выявлены достоверные различия по высоте прыжка? Чем они могут быть объяснены с биомеханической точки зрения?

г) Почему, вероятнее всего, корреляционная связь между углами и результатом оказалась слабой, однако достоверные различия зафиксированы. Почему в данном конкретном случае более целесообразно применять определение достоверности различий, чем корреляционный анализ.

д) Почему чрезмерно малый или чрезмерно большой угол в коленном суставе может снижать эффективность прыжка, несмотря на высокую мышечную силу спортсмена?

Лабораторная работа. Анализ программы изменения позы тела человека в исследуемом физическом упражнении

Цель работы: ознакомиться со способом анализа программы изменения позы тела человека в исследуемом физическом упражнении.

Теоретические сведения

Изменение позы тела – это определенное изменение суставных углов. Благодаря таким изменениям человек передвигается целенаправленно. Следовательно, изменения суставных углов выполняют управляющую функцию относительно целостного движения.

Различают **главные и корректирующие управляющие движения**. Первые обязательны при каждом выполнении конкретного упражнения. Без вторых, в принципе, можно обойтись, но они облегчают исполнение упражнения, усиливают его зрительное восприятие и т.д. Выделяют также шумовые движения, которые не влияют на механику двигательного действия, но от которых трудно или невозможно избавиться.

Программа позы – требования к изменению положения частей тела при выполнении двигательного действия. Данная программа, как и программы, рассмотренные выше, может быть установлена эмпирически и представлена в наглядном виде (пример, хронограмма) или математически (матрица суставных углов, скоростей).

Хронограмма (диаграмма фаз двигательного действия) дает материал преимущественно для качественного анализа координационной структуры двигательного действия (табл. 9). Хронограмма удобна тем, что наглядно представляет соотношение фаз двигательного действия (ритм движения), а также показывает наличие групп и рядов движений, то есть движений, выполняемых одновременно и последовательно.

Таблица 9 – Хронограмма фаз двигательного действия

Безопорный период 0,292 с		Опорный период 0,125 с		Безопорный период 0,208
фаза амортизации		→0,083 с	0,042 с	фаза отталкивания
разведение 0,083 с	сведение бедер 0,208 с	разведение бедер 0,208 с		сведение 0,125 с

Индексная запись позы и ее изменения неудобна для зрительного восприятия. Однако она дает точное количественное описание процесса и позволяет анализировать его с применением вычислительной техники.

Большинство спортивных движений можно анализировать с использованием 14-звенной модели тела человека. Но для индексного описания позы тело человека иногда представляют в виде 21-звенной биокинематической системы (рис. 51)

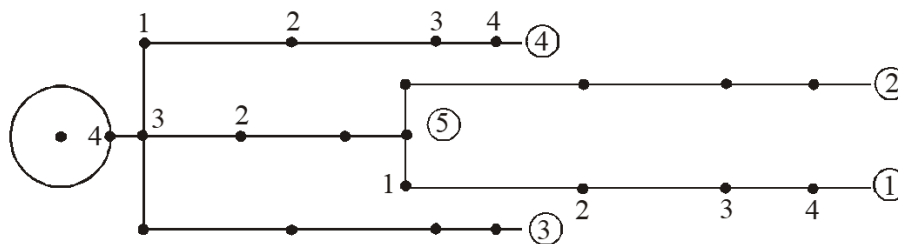


Рисунок 51 – Нумерация биокинематических цепей и сочленений тела человека при индексном описании позы (по В.Т. Назарову, 1984).

Цепи: 1 – правая нога, 2 – левая нога, 3 – правая рука, 4 – левая рука, 5 – позвоночный столб с головой.

Сочленения ног: 1 – тазобедренный сустав, 2 – коленный сустав, 3 – голеностопный сустав, 4 – плюснофаланговый сустав.

Сочленения рук: 1 – плечевой сустав, 2 – локтевой сустав, 3 – лучезапястный сустав, 4 – пястнофаланговый сустав.

Сочленения позвоночника: 1 – крестцово-поясничное, 2 – пояснично-грудное, 3 – грудно-шейное. 4 – атланта-затылочный сустав.

Пронумерованы и суставные движения. 1 – отведение-приведение (сгибание-разгибание), 2 – ротация (супинация-пронация), 3 – циркумдукция (конусообразное движение).

При индексной записи угла (φ) последовательно указываются: биокинематическая цепь, сустав, тип движения. Например, выражение $\varphi_{321} = 90^\circ$ означает, что правая рука (3) в локтевом суставе (2) согнута (1) на 90° .

Для указания момента времени, в который зафиксирована данная поза, употребляют верхние индексы, например, $\varphi^{0,5}_{321} = 90^\circ$ – сгибание правой руки в локтевом суставе произошло через 0,5 с после начала наблюдения. Однако момент времени ($t = 0$) не обозначают.

Различают индексы фиксирующие (буквы латинского алфавита от *a* до *h*), указывающие на то, что речь идет о каком-либо одном из возможных элементов рассматриваемой совокупности; скользящие (от *i* до *s*), указывающие на последовательный ряд всех возможных элементов; специальные (от *t* до *z*), обозначающие оси, координаты, скорости и т.п. Специальные индексы оговариваются в каждом конкретном случае.

Данный метод может применяться для описания и других объектов, процессов. Например, 3_{41} – четвертой цепи первое звено, то есть левое плечо. V_{32} – скорость правого предплечья.

Основной необходимый минимум определения суставных углов приводится ниже:

1. Все суставные углы считаются равными нулю в положении основной стойки.
2. Порядок измерения углов соответствует нумерации сочленений биокинематических цепей.
3. Измеряется не угол между звеньями, а угол поворота собственных осей дистального звена относительно собственных осей проксимального звена. Для плеча и бедра проксимальным звеном является соответствующий отдел позвоночника, либо ось туловища (при использовании 14-звенной схемы тела).
4. Направление движения 1-го типа в боковом направлении уточняется указанием угла конусообразного поворота и наоборот. Например, $\varphi_{311} = 45^\circ$ ($\varphi_{313} = 90^\circ$) – правая рука вниз – в сторону.

Неискаженные суставные углы при сгибании во фронтальной плоскости видны со стороны груди, а в сагиттальной – справа.

В тех случаях, когда движения выполняются во многих суставах, применяется матричное описание позы (рис. 52).

$$\varphi_{ikl} = \begin{vmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} & \varphi_{13} & \varphi_{14} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} & \varphi_{23} & \varphi_{24} \\ \varphi_{31} & \varphi_{32} & \varphi_{33} & \varphi_{34} \\ \varphi_{41} & \varphi_{42} & \varphi_{43} & \varphi_{44} \\ \varphi_{51} & \varphi_{52} & \varphi_{53} & \varphi_{54} \end{vmatrix} \begin{matrix} \mathbf{t} \\ \\ \\ \\ \mathbf{l} \end{matrix}$$

Рисунок 52 – Матрица для описания позы тела
(строки – кинематические цепи, столбцы – сочленения цепей)

В общем случае при описании позы тела необходимо пользоваться матрицами углов, образовавшихся в результате движений всех типов. Но если суставные движения какого-либо типа не выполняются, то матрицы таких углов не пишутся.

Для записи меняющейся позы используют уравнение простой линейной регрессии типа $Y = a + bX$: $\varphi^{i0 \rightarrow ik}_{авс} = \varphi_{авс} + \omega^{i0 \rightarrow ik}_{авс} \cdot t$, где $\varphi^{i0 \rightarrow ik}_{авс}$ – суставной угол в любой момент времени от начала до окончания движения, $\varphi_{авс}$ – угол в момент начала наблюдения, $\omega^{i0 \rightarrow ik}_{авс}$ – средняя угловая скорость данного движения от начального до конечного момента времени, t – момент времени для которого определяется суставной угол.

Исходные данные. Промер фазы физического упражнения.

Ход работы. 1. На промере продолжить оси звеньев так, чтобы можно было измерить углы поворота звеньев тела с помощью транспортира. Через центры тазобедренных и плечевых суставов провести прямые, параллельные оси туловища.

2. Заготовить бланки матриц по числу исследуемых изображений.

3. Измерить углы поворота звеньев тела. Результаты записать в соответствующие клетки соответствующих матриц (рис. 53, 54).

$$\varphi^{0,2}_{ikl} = \begin{vmatrix} 101 & -107 & 103 & - \\ -27 & -25 & 30 & - \\ -52 & 77 & -59 & - \\ 45 & 109 & -8 & - \\ -11 & - & -10 & - \end{vmatrix} \begin{matrix} 0,2 \\ \\ \\ \\ 1 \end{matrix}$$

Рисунок 53 – Матрица записи углов

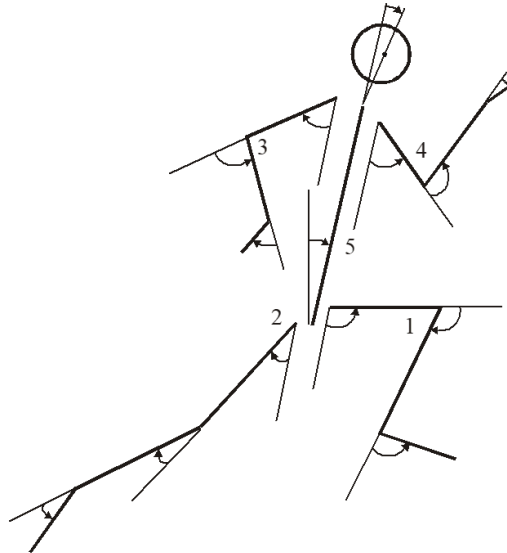


Рисунок 54 – Иллюстрация индексного описания позы тела человека. На схеме тела пронумерованы биокинематические цепи и показаны направления поворотов звеньев тела. Прочерк в матрице означает, что угол не измерялся.

Теоретические вопросы к лабораторной:

1. Что изучает программа позы?
2. Основные биокинематические цепи и их нумерация?
3. Как осуществляется нумерация суставов в биокинематических цепях?
4. Какие есть типы суставных движений и какова их нумерация?
5. Почему к первому типу суставных движений относятся циркумдукции?
6. Как записать суставной угол в какой-либо биокинематической цепи, в каком-либо суставе, полученный в результате какого-либо типа суставного движения?
7. В каком положении все углы в суставах тела равны нулю?
8. Что такое элементы динамической осанки?
9. Что такое управляющие движения?
10. Из чего складывается двигательное действие?

Практические вопросы:

11. Как подготовить файл для изучения изменений позы тела спортсмена в физическом упражнении используя программу Photoshop CS4?
12. Как определить скорость изменения углов в суставах при решении двигательной задачи в физическом упражнении с использованием программы Microsoft Excel?
13. Как измерить углы в суставах тела в какой-либо момент времени при выполнении физического упражнения?
14. Как выполнить запись позы спортсмена в форме матрицы?
15. Как вычислить изменение углов в суставах тела за известный промежуток времени?

Лабораторная работа. Определение высоты и скорости вертикального прыжка с использованием программы «My Jump»

Цель работы: научиться определять высоту, скорость отталкивания и относительную мощность вертикального прыжка с использованием программы «My Jump», а также сравнивать эффективность прыжков при различных условиях выполнения.

В ходе выполнения лабораторной работы студент должен:

- освоить методику видеорегистрации вертикального прыжка;
- научиться определять биомеханические показатели прыжка в программе «My Jump»;
- сравнить показатели прыжка: на правой и левой ноге, на двух ногах без участия рук, на двух ногах со взмахом руками;

Исходные данные. Видеозаписи вертикальных прыжков, выполненных студентами на занятии. Перед выполнением прыжков обязательно проводится разминка. Все прыжки выполняются в полную силу при одинаковых условиях.

Экспериментальные условия. Каждый студент выполняет прыжки в 4 вариантах: на правой и левой ноге, на двух ногах без взмаха руками и со взмахом руками (табл. 10).

Таблица 10 – Таблица для заполнения результатов по высоте, скорости и относительной мощности вертикального прыжка (необходимо 3 показателя)

Имя студента	Парни			
	Правая	Левая	На двух без рук	На двух с руками
1				
....				
Среднее (см)				
Имя студента	Девушки			
	Правая	Левая	На двух без рук	На двух с руками
1				
....				
Среднее (см)				

Ход работы.

1. Установить и открыть программу «My Jump» на мобильном устройстве.
2. Выполнить и зафиксировать видеозаписи вертикальных прыжков в 4 условиях.
3. Проанализировать полученные видеозаписи в программе «My Jump» для определения высоты вертикального прыжка, его скорости и мощности.
4. Рассчитать средние значения показателей для каждого варианта прыжка. Полученные данные записать в таблицу в тетради.
5. Ответить на **вопросы** в тетради:
 - а) На какой ноге высота вертикального прыжка оказалась более высокой либо разница практически отсутствует? Объяснить причину различий или их отсутствие.
 - б) Как влияет участие рук на высоту и скорость вертикального прыжка? Какие биомеханические механизмы обеспечивают увеличение результата?
 - в) С чем связаны различия в показателях высоты и мощности прыжка у юношей и девушек? Какие морфофункциональные факторы оказывают наибольшее влияние?

Лабораторная работа. Изучение влияния угла вылета снаряда на дальность полета при метании мяча

Цель работы: изучить влияние угла вылета снаряда на дальность его полета при выполнении метания мяча на основе биомеханического анализа и статистической обработки экспериментальных данных (видеозаписи).

В ходе выполнения лабораторной работы студент должен:

- освоить методику видеорегистрации метательных движений;
- определить угол вылета мяча при выполнении метания с различной траекторией;
- сравнить дальность полета мяча при низкой, средней и высокой траекториях метания;
- оценить вариативность результатов и достоверность различий между условиями метания;
- сформулировать биомеханические выводы о рациональном угле вылета снаряда;

Исходные данные. Видеозаписи метаний мяча, выполненных студентами на занятии. Программа биомеханического анализа (Kinovea). Измеренная дальность полета мяча. Перед выполнением метаний проводится обязательная разминка. Все попытки выполняются с максимальным усилием при заданной траектории полета.

Экспериментальные условия. Каждый студент выполняет три попытки метания мяча (табл. 11):

- по низкой траектории (малый угол вылета);
- по средней траектории (приближенной к оптимальной);
- по высокой траектории (большой угол вылета).

Метания выполняются одним способом, с одинакового расстояния и без разбега.

Таблица 11 – Угол вылета и дальность полета мяча

Имя студента	Низкая траектория		Средняя траектория		Высокая траектория	
	Угол (°)	Дальность (м)	Угол (°)	Дальность (м)	Угол (°)	Дальность (м)
1						
2						
...						
Среднее значение						
Стандартное квадратичное отклонение						
Достоверность различий (t-критерий Стьюдента)						

Ход работы.

1. Зафиксировать видеозаписи трех попыток метания мяча каждым студентом (низкая, средняя и высокая траектории).

2. Открыть видеозаписи в программе Kinovea и установить временные и угловые параметры измерения.

3. Определить угол вылета мяча для каждой попытки (по положению мяча в момент отрыва от руки).

4. Измерить дальность полета мяча для каждой попытки.

5. Записать полученные данные в таблицу.

6. Рассчитать: средние значения угла вылета и дальности, стандартное квадратичное отклонение, достоверность различий дальности полета при различных траекториях (t-критерий Стьюдента).

7. Полученные результаты оформить в тетради и сформулировать выводы.

8. Ответить на вопросы в тетради:

а) При какой траектории метания была достигнута наибольшая средняя дальность полета мяча? Насколько полученные результаты соответствуют теоретически оптимальному углу вылета?

б) Как изменяется дальность полета мяча при увеличении угла вылета? Почему слишком малый или слишком большой угол приводит к снижению результата?

в) В каком варианте метания наблюдалась наибольшая вариативность результатов? С чем может быть связана повышенная нестабильность техники при данной траектории?

г) Являются ли различия в дальности полета мяча между вариантами метания статистически достоверными? Что это говорит о влиянии угла вылета на результат?

д) Почему в реальных условиях метания оптимальный угол вылета может отличаться от теоретического значения 45° ? Какие биомеханические факторы оказывают наибольшее влияние?

Лабораторная работа. Биомеханический анализ техники спринтерского бега: временные и угловые характеристики

Цель работы: освоить методику анализа временных параметров и кинематики движений в спринтерском беге с использованием программы «Kinovea».

Исходные данные. Видеозапись бега на 100 метров с боковым ракурсом. Программа биомеханического анализа (Kinovea).

Ход работы.

- Загрузите видеозапись спринтерского бега в программу «Kinovea».
- Установите единицы измерения времени в миллисекундах.
- Выберите для анализа 5 последовательных шагов одного спринтера в фазе максимальной скорости.
- Заполните таблицу 12, где должны быть отмечены следующие основные характеристики бега: временные характеристики (время опоры, время полета), угловые характеристики (угол отталкивания в коленном суставе опорной ноги в момент отрыва от дорожки, угол сгибания в коленном суставе маховой ноги в фазе переноса).

Таблица 12 – Временные и угловые характеристики бегового шага

Шаг	Время опоры (мс)	Время полета (мс)	Угол отталкивания в колене (°)	Угол сгибания маховой ноги (°)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
Среднее				
Стандартное квадратичное отклонение (мс)				

Ход работы.

1. Открыть видеозаписи в программе Kinovea и определить необходимые временные и угловые параметры.

2. В процессе измерения придерживаться **следующих правил:**

- **Определение времени опоры:** Отмечаем меткой времени момент первого контакта стопы с дорожкой и момент ее полного отрыва. Разница – время опоры.

- **Определение времени полета:** Отмечаем момент отрыва стопы до момента контакта стопы другой ноги.

- **Определение угла отталкивания:** найдите кадр, в котором стопа только что оторвалась от дорожки. Используйте инструмент «Угол». Поставьте три точки: 1 – большой вертел бедренной кости (тазобедренный сустав), 2 – латеральный мыщелок бедренной кости (коленный сустав), 3 – латеральная лодыжка (голеностопный сустав).

- **Определение угла сгибания маховой ноги:** найдите кадр, в котором колено маховой ноги максимально вынесено вперед. Аналогично измерьте угол в коленном суставе маховой ноги (бедро-колено-голень).

3. Ответить на вопросы в тетради:

а) Каковы средние значения времени опоры и времени полета в анализируемой фазе спринтерского бега? Какое из этих времен является меньшим и почему это характерно для фазы максимальной скорости?

б) Объясните биомеханический смысл угла отталкивания. Почему слишком большой или слишком маленький угол может снижать эффективность отталкивания?

в) Какую функциональную роль выполняет оптимальный угол сгибания маховой ноги в фазе переноса? Как его изменение может повлиять на частоту шагов и скорость бега?

г) Как совокупность временных и угловых характеристик бегового шага определяет эффективность передвижения спринтера в фазе максимальной скорости? Какие параметры, по результатам данной работы, могут рассматриваться как ключевые для совершенствования техники?

Лабораторная работа. Изучение индивидуального профиля асимметрии человека

Цель работы: Изучить индивидуальный профиль асимметрии студента на основе анализа моторных и сенсорных предпочтений, определить степень выраженности функциональной асимметрии и тип латерального фенотипа.

В ходе выполнения лабораторной работы студент **должен:**

- Определить ведущую руку, ногу, глаз и ухо с использованием анкетных вопросов и функциональных тестов.
- Рассчитать коэффициенты асимметрии для парных органов.
- Определить моторную, сенсорную и интегральную асимметрию.
- Классифицировать индивидуальный профиль асимметрии.
- Сформулировать вывод о характере латерализации обследуемого.

Исходные данные. Результаты анкетирования и выполнения функциональных тестов на определение ведущей руки, ноги, глаза и уха (таблицы 13, 14, 15, 16).

Ход работы.

1. Дать ответы на анкетные вопросы и выполнить предложенные тесты. В случае преобладания правой или левой стороны в таблице ставится знак «+». При симметричной реакции отметка ставится в обоих столбцах.

2. Заполнить данные в рабочей тетради:

Таблица 13 – Определение ведущей руки

№	Действие	Левая	Правая
Вопросы			
1	Письмо		
2	Рисование		
3	Открывание крана		
4	Открывание пробок		
5	Пользование зубной щеткой		
6	Работа стирательной резинкой		
7	Работа ножницами		
8	Бросок мяча в цель		
9	Чистка апельсина		
10	Помешивание пищи		
Тесты			
11	Переплетение пальцев		
12	Поза «Наполеона»		
13	Аплодирование		
14	Поднимание предмета с пола		
15	Метание дротика		
16	Манипуляции с телефоном		
Итого	Только левых	Только правых	Без преобладания

Таблица 14 – Определение ведущей ноги

№	Действие	Левая	Правая
Вопросы			
1	Удар по мячу		
2	Ведение мяча		
Тесты			
3	Закладывание ноги на ногу		
4	Опускание на одно колено		
5	Вставание с колен		
6	Внезапный шаг		
7	Поза низкого старта		
Итого	Только левых	Только правых	Без преобладания

Таблица 15 – Определение ведущего глаза

№	Действие	Левая	Правая
Тесты			
1	Подмигивание		
2	Проба Розенбаха		
3	«Карта с отверстием»		
4	«Подзорная труба»		
5	Прицеливание		
Итого	Только левых	Только правых	Без преобладания

Таблица 16 – Определение ведущего уха

№	Действие	Левая	Правая
Тесты			
1	Телефонная трубка		
2	Поднесение часов		
3	Лучшее восприятие тиканья		
Итого	Только левых	Только правых	Без преобладания

Обработка и анализ результатов

1. Расчет коэффициента асимметрии (Кас., %) отдельно для каждого парного органа по формуле (рис. 55) ($E_{пр}$ – число тестов с преобладанием правой стороны; $E_{лев}$ – число тестов с преобладанием левой стороны; E_0 – число тестов без преобладания стороны):

$$Кас = \frac{E_{пр} - E_{лев}}{E_{пр} + E_{лев} + E_0} \times 100\%$$

Рисунок 55 – Формула для расчета коэффициента асимметрии

Если Кас. > +15% – преобладает правая сторона; если Кас. < -15% – левая; если величина Кас. находится в интервале от +15% до -15% – симметрия (или амбидекстрия).

2. Определение индивидуального профиля асимметрии (ИПА). Классификация по схеме **рука – нога – глаз – ухо**:

- абсолютный правша (4 правых функции);
- преимущественно правый тип (3 правых);
- смешанный тип (2 правых);
- амбидекстральный тип (1 правая);
- абсолютный левша (4 левых).

Отдельно можно выделить «явных левшей» – леворуких без учета стороны доминирования других функций, а также «скрытых левшей» – праворуких, но с доминированием левого глаза, уха или ноги.

3. **Расчет интегральных показателей** коэффициент моторной (КМА, %), сенсорной (КСА, %) и интегральной (КИА, %) асимметрии осуществляется по формулам:

$$КМА = \frac{Кас_{рук} + Кас_{ног}}{2}$$

$$КСА = \frac{Кас_{глаз} + Кас_{уха}}{2}$$

$$КИА = \frac{КМА + КСА}{2}$$

4. Ответить на вопросы в тетради:

а) Какой тип индивидуального профиля асимметрии был выявлен у Вас? Какова степень выраженности асимметрии?

б) Какие виды спорта или спортивные специализации можно рекомендовать обследуемому с учетом выявленного профиля асимметрии? Обоснуйте выбор, опираясь на преобладание ведущей руки, ноги и сенсорных систем (зрение, слух).

в) В каких видах спорта выявленный профиль асимметрии может рассматриваться как ограничивающий фактор? Приведите примеры (игровые виды, циклические, координационно сложные, единоборства и др.).

г) Требуется ли выявленная асимметрия целенаправленной коррекции (сглаживания)? В каких случаях функциональная асимметрия является физиологически оправданной, а в каких – может повышать риск травматизма или снижать эффективность техники?

д) Какие направления коррекционной работы можно рекомендовать при выраженной моторной асимметрии? Укажите примеры упражнений или средств подготовки для развития недоминантной стороны.

е) Можно ли на основании полученных данных говорить о предрасположенности обследуемого к асимметричным или симметричным видам двигательной деятельности? Приведите аргументы на основе коэффициентов КМА, КСА и КИА.

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Перечень вопросов и практических заданий к экзамену

1. Предмет биомеханики как науки о движениях человека
2. Современный этап развития биомеханики спорта.
3. Системы отсчета расстояний и времени: начало, направление и единицы отсчета.
4. Временные характеристики: момент времени, длительность движения тела и его частей, темп и ритм движений.
5. Пространственно-временные характеристики движения точки: линейная и угловая скорости, линейное и угловое ускорения.
6. Общий центр тяжести тела человека.
7. Общая характеристика структуры программы положения тела человека.
8. Модель тела человека для описания программы позы.
9. Степени свободы и связи в биокинематических цепях.
10. Современные биомеханические исследования временных характеристик.
11. Современные биомеханические исследования пространственных характеристик.
12. Силы в движениях человека.
13. Роль сил в движениях человека.
14. Биоэнергетика двигательных действий.
15. Преобразование и превращение энергии в двигательных действиях.
16. Силы, действующие на летящий спортивный снаряд.
17. Закономерности сообщения движения спортивным снарядам.
18. Взаимодействие мяча с твердой опорой.
19. Условия сохранения положения тела человека, находящегося в контакте с твердой опорой.
20. Площадь опоры и угол устойчивости.
21. Особенности сохранения позы тела человека.
22. Условие равенства моментов сил, действующих относительно оси сустава.
23. Понятие управляющих сил и моментов сил.
24. Методика определения управляющих сил и моментов сил.
25. Силы, действующие на тело человека во время бега.
26. Силы, действующие на тело человека при плавании.
27. Традиционные подходы к обучению двигательным действиям.
28. Биомеханические аспекты обучения двигательным действиям.
29. Элементы динамической осанки и управляющие движения в суставах.
30. Последовательность обучения двигательному действию.
31. Классификация двигательных ошибок.
32. Двигательные ошибки, связанные с реализацией элементов осанки.
33. Определение конструктивных и тренируемых возможностей управляющих движений в суставах тела человека.
34. Биомеханические особенности реализации сгибательно-разгибательных движений.
35. Биомеханические особенности реализации циркумдукционных управляющих движений.
36. Закономерности взаимодействия управляющих движений между собой и с внешними силами.
37. Моторика человека как совокупность его двигательных возможностей.
38. Биомеханическая характеристика силовых качеств.
39. Зависимость силы действия человека от параметров двигательных заданий.

40. Биомеханическая характеристика скоростных качеств.
41. Скорость изменения силы.
42. Биомеханические аспекты двигательных реакций.
43. Биомеханическая характеристика выносливости.
44. Утомление и его биомеханические проявления.
45. Биомеханические основы экономизации спортивной техники.
46. Биомеханическая характеристика гибкости.
47. Индивидуальные и групповые особенности моторики.
48. Роль созревания и научения в онтогенезе моторики.
49. Онтогенез моторики в отдельные возрастные периоды.
50. Функциональные асимметрии.

Определить положение ОЦТ тела аналитическим способом по координатам опорных точек

Сторона тела	Ось	g_c	b	a	m	g_m	f	s	p	D
правая	X	55	45	25	5	5	45	25	25	5
	Y	125	110	90	90	100	55	35	0	0
левая	X	55	65	85	105	105	65	80	80	100
	Y	125	110	90	90	100	55	35	0	0

Сторона тела	Ось	g_c	b	a	m	g_m	f	s	p	d
правая	X	55	45	25	10	0	45	25	25	5
	Y	125	110	110	110	110	55	35	0	0
левая	X	55	65	90	115	130	65	90	90	110
	Y	125	110	110	110	110	55	55	20	20

Сторона тела	Ось	g_c	b	a	m	g_m	f	s	p	d
правая	X	55	45	25	5	5	45	25	45	30
	Y	125	110	90	90	100	55	35	15	0
левая	X	55	65	85	105	105	65	80	105	120
	Y	125	110	90	90	100	55	35	10	25

Сторона тела	Ось	g_c	b	a	m	g_m	f	s	p	d
правая	X	55	25	25	15	0	45	25	25	5
	Y	125	90	70	70	110	55	35	0	0
левая	X	55	85	85	95	130	65	90	90	110
	Y	125	90	70	70	110	55	55	20	20

Сторона тела	Ось	g_c	b	a	m	g_m	F	s	p	d
правая	X	55	45	25	5	5	45	25	45	30
	Y	125	110	90	90	100	55	35	15	0
левая	X	55	65	85	105	105	65	80	105	120
	Y	125	110	90	90	100	55	35	10	25

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Учебно-методическая карта учебной дисциплины
6-05-1012-02 Тренерская деятельность (с указанием вида спорта), 8 сем.

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические Занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 курс, 3 семестр								
МОДУЛЬ 1 КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА								
1.	Положение точек тела человека в пространстве, их пространственные и пространственно-временные характеристики	2			8			устный опрос, собеседование
2.	Положение тела человека в пространстве	2			6			устный опрос, собеседование
3.	Форма текущей аттестации по модулю	Письменное или устное тестирование						
МОДУЛЬ 2 ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА								
4.	Динамические характеристики поступательного и вращательного движений	2			2			устный опрос, собеседование
5.	Силы при выполнении двигательных действий и их энергетические характеристики				2			устный опрос, собеседование
6.	Закономерности полета спортивных снарядов	2						конспект
7.	Статика	2			2			устный опрос, собеседование
8.	Управляющие силы и моменты сил				4			устный опрос, собеседование
10.	Форма текущей аттестации по модулю	Письменное или устное тестирование						
МОДУЛЬ 3 БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБУЧЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫМ ДЕЙСТВИЯМ. БИОМЕХАНИКА ДВИГАТЕЛЬНЫХ КАЧЕСТВ								
11.	Биомеханические закономерности освоения двигательного действия	2						конспект
12.	Конструктивные возможности управляющих движений	2			2			устный опрос, собеседование
14.	Биомеханика двигательных качеств	2			2			устный опрос, собеседование
15.	Контроль УСР						2	реферат, собеседование
16.	Форма текущей аттестации по модулю	Письменное или устное тестирование						
Экзамен								

6-05-0115-01 Образование в области физической культуры, 8 сем.

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические Занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 курс, 3 семестр								
МОДУЛЬ 1 КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА								
1.	Положение точек тела человека в пространстве, их пространственные и пространственно-временные характеристики	2			10			устный опрос, собеседование
2.	Положение тела человека в пространстве	2			8			устный опрос, собеседование
3.	Форма текущей аттестации по модулю	Письменное или устное тестирование						
МОДУЛЬ 2 ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА								
4.	Динамические характеристики поступательного и вращательного движений	2			2			устный опрос, собеседование
5.	Силы при выполнении двигательных действий и их энергетические характеристики	2			2			устный опрос, собеседование
6.	Закономерности полета спортивных снарядов	2						конспект
7.	Статика	2			2			устный опрос, собеседование
8.	Управляющие силы и моменты сил				4			устный опрос, собеседование
10.	Форма текущей аттестации по модулю	Письменное или устное тестирование						
МОДУЛЬ 3 БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБУЧЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫМ ДЕЙСТВИЯМ. БИОМЕХАНИКА ДВИГАТЕЛЬНЫХ КАЧЕСТВ								
11.	Биомеханические закономерности освоения двигательного действия	2						конспект
12.	Конструктивные возможности управляющих движений	2			2			устный опрос, собеседование
14.	Биомеханика двигательных качеств	2			2			устный опрос, собеседование
15.	Форма текущей аттестации по модулю	Письменное или устное тестирование						
Экзамен								

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Стеблецов, Е. А. Биомеханика : учебник для вузов / Е. А. Стеблецов, И. И. Болдырев. – Москва : Издательство Юрайт, 2021. – 160 с.
2. Сотский, Н. Б. Биомеханика: учебник / Н. Б. Сотский. – Минск: РИВШ, 2023. – 216 с.

Дополнительная

3. Зданевич, А. А. Биомеханика : учебно-методический комплекс / А. А. Зданевич, Л. В. Шукевич ; под общ. ред. А. А. Зданевича. – Брест : БрГУ имени А.С. Пушкина, 2020. – 218 с.
4. Джаилов, А. А. Биомеханика двигательной деятельности : электронное учебное пособие / А.А. Джаилов, К.Л. Меркурьев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – 178 с.
5. Загревский, В. И. Биомеханика физических упражнений : учебное пособие / В. И. Загревский, О. И. Загревский. – Томск : Издательский дом Томского государственного университета, 2018. – 262 с.
6. Криевич, Т. О. Биомеханика : электронный учебно-методический комплекс / Т. О. Криевич, В. А. Касько, Н. Г. Соловьева ; Минск : БГУПУ имени Максима Танка, 2019. – 215 с.
7. McGinnis, P. M. Biomechanics of Sport and Exercise : 3rd ed. Champaign, Illinois, U.S.A. : Human Kinetics, 2013. – 460 p.
8. Позюбанов, Э. П. Кинематика легкоатлетических упражнений : монография / Э. П. Позюбанов ; М-во спорта и туризма Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т физ. культуры. – Минск : БГУФК, 2023. – 251 с.
9. Ермаков, С. С. Теоретическое и экспериментальное определение биомеханических характеристик бега / С. С. Ермаков, В. М. Адащевский, О. А. Сиволап // Физическое воспитание студентов. – 2010. – №. 4. – С. 26–29.
10. Чигарев, А. В. Биомеханика / А. В. Чигарев, Г. И. Михасев, А. В. Борисов. – Минск : Издательство Гревцова, 2010. – 284 с.
11. Медведев, В. Г. Биомеханизмы отталкивания т опоры в прыжковых упражнениях / В. Г. Медведев // Теория и практика физической культуры. – 2013. – №. 5. – С. 82–82.
12. Рудаков, Р. Н. Динамика спортивных снарядов и спортсменов в сопротивляющейся среде / Р.Н. Рудаков // Российский журнал биомеханики. – 2007. – №. 4. – С. 61–83.
13. Чжао, Ю. Об элементах динамической осанки и управляющих движениях спортсменки при атаке барьера на дистанции 400 м / Ю. Чжао, Н. Б. Сотский, О. Н. Козловская // Мир спорта. – 2023. – № 4(93). – С. 28–31.
14. Давыдова, Н. С. Алгоритм анализа кинематических характеристик бега / Н. С. Давыдова [и др.] // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2020. – Т. 18. – №. 8. – С. 37–45.
15. Шацкий, Г. Б. Расчетные методы определения биомеханических характеристик тела человека и его движений: лабораторный практикум / Г. Б. Шацкий. – Витебск: Изд-во УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2004. – 57 с.
16. Ссылка на электронный учебно-методический комплекс: <https://newsdo.vsu.by/Биомеханика>.

Учебное издание

ТИШУТИН Николай Алексеевич

**БИОМЕХАНИКА ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ:
6-05-1012-02 ТРЕНЕРСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ
(С УКАЗАНИЕМ ВИДА СПОРТА)
6-05-0115-01 ОБРАЗОВАНИЕ
В ОБЛАСТИ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ**

Учебно-методический комплекс по учебной дисциплине

Технический редактор

Г.В. Разбоева

Компьютерный дизайн

А.В. Васехо

Подписано в печать

2026. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 5,99. Уч.-изд. л. 6,41. Тираж

экз. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение — учреждение образования
«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

Свидетельство о государственной регистрации в качестве издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/255 от 31.03.2014.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

210038, г. Витебск, Московский проспект, 33.