

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Л.В. Капилевич, В.И. Андреев, Е.В. Кошельская

БИОМЕХАНИКА ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

*Одобрено Учебно-методическим объединением по образованию
в области физической культуры и спорта и рекомендовано в качестве
учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению 034300 «Физическая культура»
и специальности 032101 «Физическая культура и спорт»*

Издательство
Томского политехнического университета
2012

УДК 796.012.1(075.8)

ББК 75.0:28.707я73

К20

Капилевич Л.В.

К20

Биомеханика двигательной активности: учебное пособие / Л.В. Капилевич, В.И. Андреев, Е.В. Кошельская – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 146 с.

ISBN 978-5-4387-0093-7

В учебном пособии доступно изложены основные понятия и научные сведения по основным разделам спортивной биомеханики; рассмотрены строение двигательного аппарата спортсмена, биокинематические цепи, биомеханические факторы, обеспечивающие развитие двигательных качеств. Освещены биомеханические методы исследования, кинематика и динамика движений спортсмена, структура движений человека и управления ими.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Физическая культура».

УДК 796.012.1(075.8)

ББК 75.0:28.707я73

Рецензенты

Доктор биологических наук, профессор
кафедры теоретических основ физической
культуры и спорта МПГУ

Е.В. Фомина

Доктор медицинских наук, профессор
кафедры биофизики и функциональной диагностики СибГМУ

И.В. Ковалев

ISBN 978-5-4387-0093-7

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2012

© Капилевич Л.В., Андреев В.И.,
Кошельская Е.В., 2012

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2012

ВВЕДЕНИЕ

В процессе жизни человек непрерывно взаимодействует с окружающей средой. Наиболее активная роль в этом взаимодействии принадлежит двигательной деятельности человека, включающей как ориентировку в пространстве и во времени, так и непосредственно само движение. Сведения о природе и закономерностях движений постоянно расширяются. Этому во многом способствуют экспериментальные наблюдения и измерения, на основе которых разрабатываются теоретические положения, углубляющие наши знания. Реальный прогресс технической подготовки спортсменов, применение новых способов выполнения упражнений во многом обусловлены практикой. Анализ ее достижений, обоснование технического совершенства на точном языке науки для широкого использования в спортивной педагогике является актуальной задачей биомеханики как науки, изучающей механические явления в живых системах, к которым относятся и движения человека.

Одна из основных задач биомеханики – совершенствование движений спортсмена, спортивной техники. Цель биомеханики – объединить механические и биологические знания о движениях человека для установления основных закономерностей формирования и развития двигательной деятельности. В движениях человека биомеханика изучает особенности перемещения в пространстве и во времени, особенности сохранения положений тела при двигательных действиях, а также механические и биологические причины возникновения движений, способы и особенности выполнения движений в различных условиях и их эффективность. Биомеханика позволяет понять общие закономерности построения и управления движениями, выявить причины двигательных ошибок и отыскать пути их устранения, конструировать технику спортивных движений.

Цель преподавания биомеханики как учебной дисциплины – подготовить будущих специалистов по физической культуре к эффективному использованию закономерностей и методов биомеханики в своей профессиональной деятельности.

Вооружение студентов системно-структурным подходом изучения движений человека и теорией структурности движений позволит им всесторонне оценивать и видеть двигательные действия как многоструктурные системы; выделять в движениях и правильно объяснять ученикам главные и второстепенные элементы и системообразующие связи; рационально использовать знания по физике, анатомии, физиологии и математике для биомеханического обоснования мотивов деятельности, которые стимулируют у занимающихся интеллектуальную и двигательную активность на уроках физической культуры и в режиме дня.

ГЛАВА 1. ПРЕДМЕТ, ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ БИОМЕХАНИКИ. НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ БИОМЕХАНИКИ КАК НАУКИ

- *Общая характеристика биомеханики как учебной и научной дисциплины*
- *Формы движения материи. Естественные и целенаправленные движения.*
- *Общие и частные задачи биомеханики.*
- *Взаимосвязь биомеханики с другими учебными дисциплинами.*

Предмет биомеханики как науки о движениях человека

Предмет науки – то, что наука изучает. *Биомеханика – наука о законах механического движения в живых системах.* В широком смысле к живым системам относятся: целостные организмы; их органы и системы органов, ткани, а также жидкости и газы в них – так называемые внутриорганизменные системы; объединения организмов.

Биомеханика спорта изучает движения человека в процессе выполнения физических упражнений.

Объектом познания в данном случае являются двигательные действия спортсмена как системы взаимосвязанных активных движений.

Областью изучения являются механические и биологические причины движений и зависящие от них особенности двигательных действий в различных условиях.

Понятие о формах движения. По уровню организации различают материю неживую, живую, мыслящую. Для каждого уровня характерны свои свойства и закономерности существования и развития. Всем трем уровням присущи механическая, физическая и химическая формы движения. Всему живому присуща биологическая форма движения, а социальная (мышление, социальные отношения) – только мыслящей материи. Каждая сложная форма движения всегда включает в себя более простые формы, но не сводится к их сумме. Простейшая форма движения – механическая, она существует везде. Но чем выше форма движения, тем менее существенна механическая форма.

Двигательные действия человека, которые изучаются в биомеханике, включают в себя механическое движение. В данном случае оно является целью двигательного действия человека (переместить себя, снаряд, партнера, соперника). Но определяющее положение при этом занимают более высокие формы движения. Целенаправленное движение в своем пространственно-временном, количественном и качественном выражении – это материализованная мысль, реализация которой обеспечивается комплексом физиологических систем организма.

Механическое движение в живых системах

Механическое движение в живых системах проявляется как передвижение всей системы относительно ее окружения (среды, опоры, физических тел); деформация самой биосистемы (передвижение ее частей относительно друг друга).

В классической механике весь окружающий нас мир представляется как множество твердых весомых непроницаемых подвижных частиц. Совокупности таких частиц образуют различные тела и агрегаты тел. И. Ньютон указывал, что «первичные частицы абсолютно тверды: они неизмеримо более тверды, чем тела, которые из них состоят; настолько тверды, что они никогда не изнашиваются, не разбиваются вдребезги».

Вместе с тем, надо отметить, что хотя законы Ньютона описывают движение абсолютно твердых тел, которые не деформируются, таких тел в природе нет. Просто в так называемых твердых телах деформации бывают настолько малы, что ими можно пренебречь. Для живых систем изменения относительного расположения элементов – дело обычное и даже необходимое, поскольку эти деформации и есть движения. Сами элементы (части) живых систем также могут существенно деформироваться (например, позвоночный столб). Поэтому, изучая движение живой системы, всегда учитывают, что работа сил тратится как на передвижение всей системы, так и на ее деформацию. Кроме того, учитывают потери энергии, ее рассеивание (диссипацию).

Механическое движение человека, изучаемое в биомеханике спорта, происходит под воздействием как внешних, так и внутренних сил. Последние управляются центральной нервной системой (ЦНС) и обусловлены физиологическими процессами. Поэтому для достаточно полного понимания сущности механического движения в биосистеме следует рассматривать не только собственно механику движения, но и его биологическую сторону, так как именно она определяет причины организации механических сил.

Не существует особых законов механики для живого мира. Но применяя эти законы к живым объектам всегда следует учитывать наряду с механическими их биологические особенности (способность и возможность к адаптации, коррекции движений, степень утомления).

Особенности механического движения человека. Двигательная активность человека – многоуровневая система. По мере усложнения в ней выделяют *движения*, то есть изменения отдельных суставных углов; *двигательные действия* – совокупности движений, имеющие определенную двигательную цель или решающие двигательную задачу; *двигательную деятельность* – целенаправленные системы двигательных

действий. Следовательно, *двигательная деятельность человека осуществляется в виде двигательных действий, которые организованы из многих взаимосвязанных движений (систем движений)*.

Движения отдельных частей тела объединены в управляемые системы движений, целостные двигательные акты. В системы движений входит также и активное сохранение положений в суставах – так называемая позная активность. Сознательное управление движениями с использованием законов биомеханики обеспечивает их высокую эффективность в различных условиях исполнения.

Общая задача изучения движений. Содержание отдельного исследования или области знания (науки) составляют теория и метод. В свою очередь они определяются задачами, стоящими перед данным исследованием (отраслью науки). Движения человека в биомеханике изучаются для решения общей задачи – *оценки эффективности приложения сил для более совершенного достижения поставленной цели*. Отсюда следует, что изучение движений в биомеханике спорта направлено на поиск совершенных способов обучения и выполнения двигательных действий. Таким образом, биомеханика спорта имеет ярко выраженную педагогическую направленность.

Частные задачи биомеханики. Это *изучение строения, свойств и двигательных функций тела спортсмена; рациональной спортивной техники; процесса технического совершенствования спортсмена*.

Особенности движений любого объекта зависят от его механических свойств, а особенности движений человека определяются также физиологическими причинами. Поэтому в биомеханике спорта изучают (с точки зрения биомеханики) строение опорно-двигательного аппарата человека, его свойства и функции (включая и показатели двигательных качеств) с учетом возрастных и половых особенностей, уровня тренированности и так далее. То есть *первая группа задач* – это изучение самих спортсменов, их особенностей и возможностей («Кого учить?»).

Совершенство двигательных действий зависит от состава движений и от того, в какую систему они собраны. Поэтому в биомеханике спорта весьма подробно исследуют особенности различных групп движений и возможности их совершенствования. Кроме того, разрабатывают новую, более рациональную технику спортивных упражнений («Чему учить?»).

Данные об изменениях спортивной техники в процессе тренировки позволяют разрабатывать основу методики технического совершенствования спортсмена. Исходя из закономерностей, присущих рациональной технике, определяют различные пути ее построения, средства и методы повышения спортивно-технического мастерства («Как учить?»).

Таким образом, решение частных задач биомеханики спорта или биомеханическое обоснование технической подготовки спортсменов подразумевает: определение особенностей и уровня подготовленности занимающихся; планирование рациональной спортивной техники; подбор вспомогательных упражнений и создание тренажеров для специальной физической и технической подготовки; оценку применяемых методов тренировки и контроль за их эффективностью. Итак, в ходе решения частных задач биомеханики спорта получают ответы на вопросы – кого, чему и как учить?

Содержание биомеханики спорта: ее теория и метод

Знания, оформленные в систему основных положений, составляют *содержание* отрасли знаний, а пути получения знаний – ее *метод*.

Теория биомеханики спорта. *В основе современного понимания двигательных действий заложен системно-структурный подход, который позволяет рассматривать тело человека как движущуюся систему, а сами процессы движения – как развивающиеся системы движений.*

Системно-структурный подход к изучению движений человека реализуется в теории структурности движений, заложенной идеями Н.А. Бернштейна. «Движение не есть цепочка деталей, а структура, дифференцирующаяся на детали – структура целостная при наличии в то же время высокой дифференциации элементов и разнообразно избирательных форм взаимоотношений между ними».

В основе теории структурности движений лежат принципы структурности, целостности, целенаправленности. Принцип *структурности* построения систем движений означает, что все движения в системе взаимосвязаны. Именно эти связи определяют целостность и совершенство действия. Принцип *целостности* действия означает, что все движения в двигательном действии образуют единое целое – систему движений. Изменение каждого движения влияет на всю систему. Принцип *целенаправленности* систем движений предполагает, что человек сознательно ставит цель, применяет целесообразные движения и управляет ими для достижения цели.

В основы теории биомеханики спорта входят предпосылки механической обусловленности и рефлекторной природы движений. Это положение означает безусловное признание того, что все движения человека осуществляются под воздействием механических сил различного происхождения в соответствии с законами механики; для всех движений в целом характерна рефлекторная природа управления двигательными действиями на основе принципа нервизма.

Теория биомеханики в настоящее время охватывает *три большие проблемы*. Рассмотрим их по порядку.

Особенности строения и свойства животных организмов оказывают существенное влияние на закономерности их движений. Исходя из этого, тело человека рассматривают как биомеханическую систему. С давних пор органы опоры и движения сравнивают с рычагами. Ранее указывали лишь на то, что, изучая движения таких рычагов, надо учитывать анатомо-физиологические особенности тела человека. Следующим этапом в понимании природы движений было признание специфики биомеханических систем, отличных в принципе от твердых тел или систем твердых тел. Эта специфика заставляет изучать такие свойства биомеханических систем, которых нет в искусственных конструкциях, машинах, создаваемых человеком. Поэтому в теории биомеханики возникла проблема изучения строения и свойств биомеханических систем, а также их развития.

Для решения общей задачи биомеханики необходимо изучение *специфических особенностей самих процессов движения живого организма и условий, обеспечивающих эффективность приложения сил*. Для животных характерно сочетание множества движений в суставах в единое целое – систему движений. С этим связано возникновение в теории биомеханики проблемы изучения эффективности двигательных действий как систем движений, их особенностей и развития.

Наконец, чрезвычайно важно изучение *изменения движений в процессе овладения двигательными действиями как системами движений* (двигательными актами, приемами выполнения действий). В связи с этим в теории биомеханики возникла проблема изучения закономерностей формирования и совершенствования движений.

Метод биомеханики в наиболее общем виде имеет в своей основе системный анализ и системный синтез действий с использованием количественных характеристик, в частности моделирования движений. В изучении движений специфика данного метода заключается в определении конкретных способов системного анализа действий и их синтеза. Выявление состава элементов системы движений – это этап познания целостного двигательного действия. Биомеханика как наука экспериментальная опирается на опытное (практическое) изучение движений. При помощи аппаратной регистрации выявляются количественные особенности (характеристики) движений, что позволяет затем сравнивать между собой различные (удачные и неудачные и т. п.) движения. Это позволяет также устанавливать состав системы движений. В этом заключается *системный анализ* действий.

Как уже указывалось, система движений как целое не сводится к простой сумме ее элементов. Многочисленные взаимосвязи придают частям системы новые, не свойственные им ранее качества. Способ взаимосвязи частей в систему, закономерности этих взаимосвязей называются структурой системы. *Системный синтез* действия, таким образом, заключается в том, что на основе изучения изменений количественных характеристик выявляются законы взаимодействия элементов системы, определяются причины целостности системы.

Знание количественных характеристик движения позволяет также строить модели системы движений – физические, математические (высший этап синтеза). Синтез систем движений производится не только теоретически, но также (и чаще всего) практически – при реальном построении систем движений (овладении спортивной техникой).

Несмотря на огромные возможности, которыми обладает системно-структурный подход, наиболее широко в современных биомеханических исследованиях применяется *функциональный метод*. С его помощью изучают функциональную зависимость между свойствами и состояниями предметов, процессов, явлений. При этом не ставится задача изучения структуры предмета исследования, исследуется только его функция (назначение).

Не может быть противопоставления вышеназванных методов. Выбор подхода (системно-структурный или функциональный) определяется в зависимости от постановки и условий задачи исследования.

Следует отмечать метод биомеханики как принципиальный путь познания сложных систем движений от частных методик биомеханического исследования (то есть методик регистрации и обработки экспериментальных данных).

Развитие биомеханики спорта. Биомеханика, изучающая механику движений живых организмов с учетом их анатомо-физиологических особенностей, развивалась вместе с эволюцией человеческого общества, как и другие науки. Ее успехи наиболее тесно связаны с достижениями медико-биологических наук, теоретической и прикладной математики.

Первой серьезной работой в области биомеханики движений человека следует считать опыты римского врача школы гладиаторов *Клавдия Галена* (131–201 гг. н. э.). Он первым экспериментально установил связь работы мышц человека с суставными движениями, обратил внимание на группы мышц, работающие в одном и противоположном направлениях.

Мысль о том, что законы механики могут быть применены для исследования движений живых существ, была впервые высказана великим *Леонардо да Винчи* (1451–1519).

Первая книга по механике живого вышла в свет в Риме в 1679 г. Ее автор – профессор математики *Джованни Альфонсо Борелли* (1608–1679) – подвел итог накопившемуся опыту в этой области и дал существенный толчок дальнейшим исследованиям движений живых существ. К этому времени достаточно стройную систему знаний составляла статика, указывающая условия равновесия механических систем. Почти все ее основные законы уже были сформулированы Архимедом (287–212 гг. до н. э.), Леонардо да Винчи, Убальди (1545–1607), Стевином (1548–1620) и Вариньоном (1654–1722).

Основы динамики, связывающие кинематику движения тел с действием приложенных к ним сил, только еще вырисовывались в работах Галилея (1564–1642) и Декарта (1569–1650). Трактат Ньютона (1643–1726) «Математические начала натуральной философии», приведшего в стройную систему достижения своих предшественников и четко сформулировавшего известные законы динамики, вышел в свет в 1686 г. уже после смерти Борелли.

Отсюда понятно, что исследования Борелли прежде всего могли быть направлены на изучение статики человеческого тела. Им подробно были рассмотрены с точки зрения механики условия равновесия многозвенной системы, дано определение общего центра тяжести (ОЦТ) человеческого тела и приведены первые экспериментальные данные по этому вопросу. Анализ органов движения живых организмов заканчивался классификацией движений животных и человека по виду их взаимодействия с окружающей средой. Так были выделены движения, происходящие в результате отталкивания от опоры, подтягивания к ней, вызванные отталкиванием от жидкой или газообразной среды.

Свою научную деятельность выдающийся математик и механик Бернулли (1694) начал с медицинской работы «Соискательная физико-математическая диссертация о движении мускулов». В ней автор предлагает модель мышцы в виде отдельных волокон. В этом исследовании применялось лейбницево дифференциальное исчисление. Таким образом, для современного математического аппарата задача механики живого была одним из первых пробных камней. До сих пор в биомеханике отмечается принцип Бернулли, согласно которому величина мышечного сокращения при прочих равных условиях пропорциональна длине образующих мышцу волокон.

Примечательно внимание, с каким обращались в то время к проблеме движения живых существ основоположники классической механики. В своей последней крупной незаконченной работе «Оптика, или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света (1706, 1721) Ньютон, оставляя своеобразное творческое завещание, отмечал: «Ввиду

того, что я не завершил этой части моего плана, я закончил предложением только нескольких вопросов для дальнейшего исследования, которое произведут другие». Среди вопросов под № 28 говорится: «Каким образом тела животных устроены с таким искусством и для какой цели служат их отдельные части...? Каким образом движение тел следует воле и откуда инстинкт у животных?»

Значительный этап в биомеханике физических упражнений связан с именами братьев Вебер. В фундаментальной работе «Механика двигательного аппарата человека» (г. Геттинген, 1836) приведен уже значительный материал по кинематике ходьбы.

Значительный вклад в изучение динамики двигательных актов внесли Вильгельм Брауне и Отто Фишер. Они уточнили расположение ОЦТ тела и отдельных его частей, впервые экспериментально установили величины моментов инерции звеньев тела, усовершенствовали методы регистрации движений, подошли к определению вращательных моментов мышц, развиваемых в отдельных суставах. После смерти Брауне Фишер изучил с точки зрения динамики действие одно- и многосуставных мышц, изложил статику человеческого тела как частный случай динамики мышечной деятельности и решил ряд других задач.

Огромный вклад в биомеханику спорта внес Николай Александрович Бернштейн (1896–1966), который неоднократно говорил, что каждая наука становится действительной только тогда, когда она в состоянии ответить на два следующих вопроса, поставленных к предмету ее исследования: как происходит явление и почему оно происходит? Согласно первому вопросу, находятся сперва качественные описания рассматриваемых явлений, а затем и количественные взаимоотношения его отдельных частей. На втором этапе, соответствующем вопросу «почему?», также вначале качественно, а затем в строгой математической формулировке устанавливаются причины, вызывающие эти явления. Но ответов на эти вопросы оказывается еще недостаточно для уяснения сущности происходящих биологических явлений. Это особенно наглядно прослеживается при изучении движений живых существ. Действительно, много ли может сказать о сущности акта ходьбы подробный анализ кинематики шага человека или определение причин движения: внешние и мышечные силы и моменты сил, действующие на звенья тела? Все это говорит о том, что в цепи логических суждений о движении живых существ упускается какое-то звено.

Таким звеном оказался третий, не присущий неживым объектам исследования, вопрос «для чего?», отражающий целесообразность деятельности биологических систем. Эта черта функционирования живых существ была названа активностью.

Так складывались основные направления в развитии биомеханики: механическое, функционально-анатомическое и физиологическое, существующие и поныне. Основные направления в биомеханике возникали последовательно и далее развивались параллельно. В *механическом* направлении заложены основные идеи об изменении движений под действием приложенных сил и о применимости законов механики к движениям человека и животных. В *функционально-анатомическом* – идеи о единстве и взаимообусловленности формы и функции в живом организме. В *физиологическом* – идеи системности функций организма, энергетического обеспечения и идея нервизма, раскрывающая значение процессов управления движениями в двигательной деятельности.

Механическое направление, начатое работами Дж. Борелли, развитое Брауне и Фишером, представлено сейчас в работах многих зарубежных школ. Механический подход к изучению движений человека прежде всего позволяет определять количественную меру двигательных процессов. Измерение механических показателей двигательной функции необходимо для объяснения физической сущности механических явлений. Это одна из основ биомеханики. С точки зрения физики раскрываются строение и свойства опорно-двигательного аппарата, а также движений человека. В этом отношении механическое направление никогда не потеряет своего значения. Вместе с тем иногда встречается упрощенная трактовка биомеханики как «прикладной к живому» механики, что ограничивает возможности познания действительной сложности движений человека и их целенаправленного совершенствования.

Функционально-анатомическое направление (динамическая анатомия) возникло в России. Среди его основоположников П.Ф. Лесгафт, И.М. Сеченов, М.Ф. Иваницкий. Это направление характеризуется преимущественно описательным анализом движений в суставах, определением участия мышц в сохранении положения тела и его движениях. Знание морфологических особенностей биомеханических систем обеспечивает более глубокое и правильное обоснование физической и технической подготовки в физическом воспитании и в частности в спорте.

Физиологическое направление складывалось под влиянием идей нервизма, учения о высшей нервной деятельности и данных нейрофизиологии. И.М. Сеченов, И.П. Павлов, А.А. Ухтомский, П.К. Анохин, Н.А. Бернштейн и др. показали в своих работах рефлекторную природу двигательных действий и роль механизма нервной регуляции при взаимодействии организма и среды. Труды этих авторов составляют основу для исследования движений с учетом физиологии организма. В частности, П.К. Анохин явно указал, что только представление о цели связывает

деятельность разрозненных систем организма в единое целое – функциональную систему. Исследования Н.А. Бернштейна позволили ему установить чрезвычайно важный *принцип управления движениями*, общепризнанный в настоящее время. *Управление движениями осуществляется посредством: а) приспособления импульсов (команд) нервной системы по ходу движения к конкретным условиям его выполнения; б) устранения отклонений от задачи движения (коррекция).*

Все три направления в развитии биомеханики объединены в рамках системно-структурного подхода как методологической основы изучения движений.

Современный этап развития биомеханики спорта. Биомеханика спорта в нашей стране развилась из биомеханики физических упражнений, созданной П.Ф. Лесгафтом в России во второй половине 19 в. До 1927 года этот курс (теория телесных движений) входил в предмет «физическое образование», а затем был выделен в самостоятельный предмет под названием «теория движения». С 1931 года переименован в курс «биомеханика физических упражнений».

С 1930-х гг. в институтах физической культуры в Москве (Н.А. Бернштейн), Ленинграде (Е.А. Котикова, Е.Г. Котельникова), Тбилиси (Л.В. Чхаидзе), Харькове (Д.Д. Донской) и других городах развернулась учебная и научная работа по биомеханике спорта. После выхода в свет в 1939 г. учебного пособия «Биомеханика физических упражнений» (под ред. Е.А. Котиковой) биомеханическое обоснование спортивной техники стало входить во все учебники по видам спорта.

Необходимость улучшения подготовки спортсменов СССР к Олимпийским играм послужила мощным стимулом развития биомеханики спорта. С 1958 г. во всех ИФК биомеханика стала обязательной учебной дисциплиной, создавались кафедры биомеханики, разрабатывались программы, издавались пособия и учебники, готовились кадры преподавателей.

С середины 1960-х гг. получило значительное развитие такое направление биомеханики, как математическое моделирование (В.Т. Назаров, 1965; В.Н. Тутевич, 1969) спортивных движений.

Исследованиями И.М. Козлова (1975), И.П. Ратова (1970) была показана исключительная ценность непрерывной параллельной регистрации биомеханических и электрофизиологических параметров при изучении спортивных движений для установления связи между различными феноменами движений.

Значительный вклад в понимание биомеханических процессов, имеющих место при выполнении спортивных движений, внесли электрофизиологи Коц Я.М., Персон Р.С., Коряк Ю.А., Коми П.В.

В конце 1960-х гг. создано Международное общество биомехаников, проводятся симпозиумы и конгрессы по биомеханике, на которых значительное место занимает биомеханика спорта. При президиуме Академии наук России существует Научный совет по проблемам биомеханики с секциями по проблемам инженерной, медицинской и спортивной биомеханики.

Педагогическая направленность биомеханики спорта. Процесс физического воспитания вообще и подготовка спортсменов высокой квалификации немислимы без глубокого биомеханического обоснования спортивной техники, методики ее совершенствования. За последние десятилетия значительно усилилось педагогическое направление в биомеханике спорта. Совместными усилиями различных школ биомеханики разработаны основы программированного обучения технике и тактике двигательной деятельности. Эти идеи получили дальнейшее развитие в рамках педагогической кинезиологии (Х.Х. Гросс, 1977). Ее центральным понятием является модель оптимальной техники. Кроме того, биомеханические исследования лежат в основе очень многих педагогических исследований в спорта, так как без изучения количественных показателей двигательной деятельности невозможно совершенствовать методику обучения и тренировки во многих видах спорта.

Связь биомеханики с другими науками. Биомеханика как одна из биологических наук нового типа сближается по методам исследования с точными науками. Общая биомеханика как раздел биофизики возникла на стыке физико-математических и биологических областей знания. Успехи этих наук, использование идей и подходов кибернетики сказываются на развитии биомеханики. Но и эти науки обогащаются данными биомеханики о физике живого. То есть тут налицо двусторонняя связь.

Кроме того, биомеханика обслуживает такие отрасли знания или области действия, как разработка роботов (бионика), инженерная биомеханика. Медицинская биомеханика дает обоснование методам протезирования, ортопедии, ЛФК.

И вообще, следует учитывать, что биомеханика спорта – лишь часть биомеханики, о которой еще А.А. Ухтомский писал: «Биомеханика изучает ту же систему нервно-мышечных приборов как рабочую машину, то есть задается вопросом, каким образом полученная механическая энергия движения и напряжения может приобрести определенное рабочее применение. Нам предстоит отдать себе отчет в том, каковы те условия, при которых движущие силы мускулатуры действуют на твердые части скелета и могут превращать тело живого в рабочую машину с определенным рабочим эффектом».

Контрольные вопросы

1. Предмет биомеханики как науки о движениях человека.
2. Понятие о формах движения материи.
3. Механическое движение в живых системах.
4. Особенности механического движения человека.
5. Общая задача изучения движений.
6. Частные задачи биомеханики спорта.
7. Содержание биомеханики спорта: ее теория и метод.
8. Развитие биомеханики спорта.
9. Становление теории биомеханики.
10. Механическое, функционально-анатомическое и физиологическое направления развития биомеханики.
11. Современный этап развития биомеханики спорта.
12. Педагогическая направленность биомеханики спорта.
13. Связь биомеханики с другими науками.

ГЛАВА 2. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

- *Постановка задачи и выбор методик исследования.*
- *Понятие об измерительной системе (датчики, передача, преобразование, регистрация информации).*
- *Экспериментальные методы определения биомеханических параметров):*
 - *оптические методы регистрации движений (киносъемка, фотоциклосъемка, светодиодная фотоциклосъемка, стробоскопическая фотоциклосъемка, видеоманитофонная запись движений);*
 - *инструментальные методы регистрации движений (электрическая тензометрия, вектор-динамография, электромиография, электрогониометрия, спидография, акселерография).*
- *Расчетные методы (определение координат, скоростей, ускорений, сил, моментов сил).*

Постановка задачи и выбор методик исследования

Биомеханика как естественная наука в значительной мере базируется на экспериментальном исследовании изучаемых явлений. В самом исследовании выделяют три последовательных этапа: измерение биомеханических характеристик, преобразование результатов измерения, биомеханический анализ и синтез. Использование вычислительной техники позволяет выполнять эти действия одновременно.

Для количественной оценки того или иного явления используются только объективные (инструментальные) методы исследования.

Конкретный метод выбирают исходя из задачи и условий проведения эксперимента. В биомеханике к методу исследования и обеспечивающей его аппаратуре предъявляются следующие основные требования:

- метод и аппаратура должны обеспечивать получение достоверного результата, то есть степень точности измерений должна соответствовать цели исследования;
- метод и аппаратура не должны влиять на исследуемый процесс, то есть не должны искажать результаты и мешать испытуемому.

При проведении исследования желательно придерживаться принципа объективной срочной информации (В.С. Фарфель, 1961), то есть информация о главном факторе спортивного движения должна поступать либо во время выполнения движения, либо сразу после его окончания.

Выбор метода исследования в первую очередь определяется характером изменения контролируемой величины во времени. По этому при-

знаку биомеханические характеристики могут быть разделены на биомеханические параметры и биомеханические переменные.

Биомеханические параметры – это такие характеристики, значения которых не изменяются в течение всего процесса измерения (например, масса тела, момент инерции и координаты ОЦТ в фиксированной позе, вес снаряда). Величина параметров может быть неизвестна, но она не изменяется.

Биомеханические переменные – это характеристики, величина которых в процессе измерения меняется, как правило случайным образом (силы, ускорения, координаты и т. п.).

Требования к точности измерений в биомеханике спорта прежде всего определяются целью и задачами исследования, а также особенностями самого движения. Считается достаточным, если погрешность при измерении не превышает $\pm 5\%$.

Преобразование результатов измерений применяется для повышения точности полученных результатов (статистическая обработка) и определения расчетным путем непосредственно не измеряемых биомеханических характеристик.

Расчетные методы базируются на использовании законов механики (статики и динамики точки, тела, системы тел), а также статистических данных о геометрии масс тела человека. Эти данные могут быть представлены в виде таблиц, характеризующих связь массы отдельных сегментов тела человека с его общим весом (весовые коэффициенты); характеризующих связь длины сегмента с расстоянием до его ЦТ (радиусы центров тяжести). Эти данные могут быть представлены также в виде коэффициентов регрессии (парной и множественной).

Понятие об измерительной системе (датчики, передача, преобразование, регистрация информации)

В основе инструментальных методов биомеханического контроля лежат измерительные системы. Типовая схема измерительной системы состоит из шести блоков.

1. Объект измерения.
2. Воспринимающее устройство.
3. Преобразователь.
4. Вычислительное устройство.
5. Передающее устройство.
6. Индикатор (записывающее устройство).

Воспринимающее устройство, или датчик. Его основное назначение – восприятие физических величин. При исследованиях в спорте чаще всего используются следующие датчики.

Фотодиоды (или фотоэлементы). Используются для измерения временных отрезков. Их входная величина – освещенность, выходная – постоянный ток. Фотодиоды чувствительны в диапазоне от 0 до 500 Гц и имеют погрешность в 1–3 %, что недостаточно при особо точных измерениях.

Реостатные датчики (потенциометры). Используются для измерения линейных и угловых перемещений, могут применяться для измерения усилий. Входная величина потенциометра – угловое перемещение, выходная – изменение сопротивления. У него сравнительно небольшая погрешность, высокая чувствительность.

Тензорезисторы. Используются для измерения усилий. Применение тензорезисторов позволяет превратить любой спортивный снаряд в средство для изучения движения. В основе действия тензорезисторов лежит тот же физический принцип, что и у реостатных датчиков – изменение геометрических размеров проводников вызывает изменение электрического сопротивления датчика. $R = \rho l / q$ – сопротивление прямо пропорционально удельному сопротивлению и длине проводника и обратно пропорционально площади его сечения. Изменения длины и площади сечения в пределах упругости материала пропорциональны силе действия (рис. 1). Входная величина тензорезисторов – перемещение, выходная – изменение сопротивления. К достоинствам этих датчиков относятся: малая погрешность измерений, устойчивость к вибрациям. К недостаткам – низкая чувствительность, необходимость тщательного приклеивания. Наиболее существенной для тензорезисторов является температурная погрешность.

Акселерометры предназначены для измерения ускорений (рис. 2). Линейные ускорения точек тела человека изменяются весьма значительно (например, при замахе и ударе по мячу – от 200 до 1000 м/с²). Поэтому для достижения максимальной точности измерений акселерометры подбираются по своим характеристикам для измерения вполне конкретных классов движений.

Применение акселерометров ограничивается тем, что датчик измеряет не ускорение движения тела, а равнодействующую линейного ускорения и ускорения силы тяжести. Для определения искомого ускорения надо знать ориентацию датчика относительно вертикали в каждый момент времени, то есть измерение должно сопровождаться стереокиносъемкой. Но при изучении ударных движений это не обязательно.

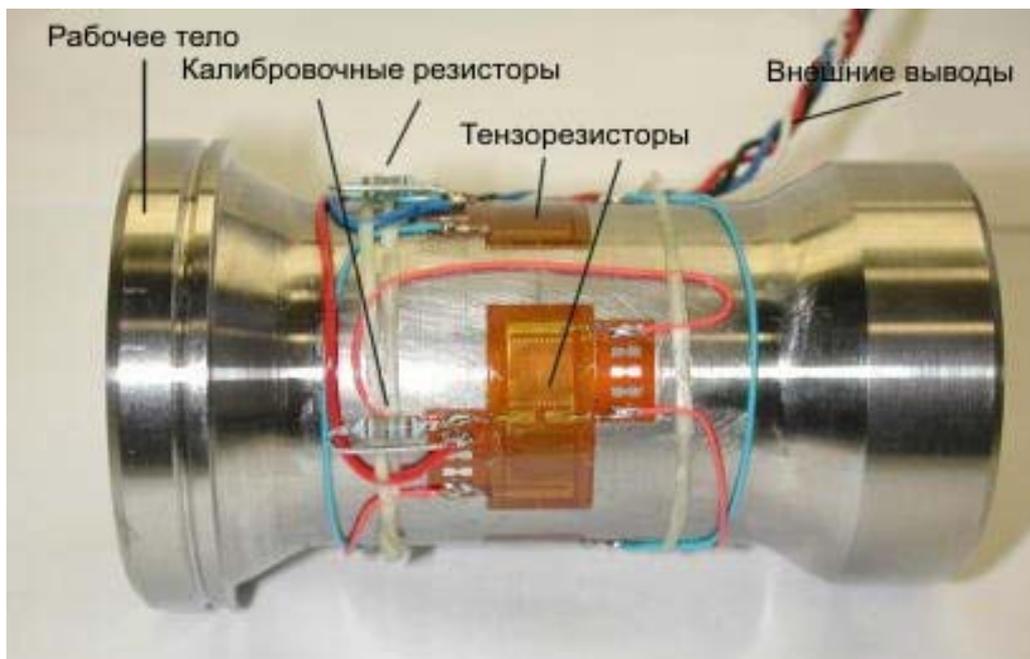
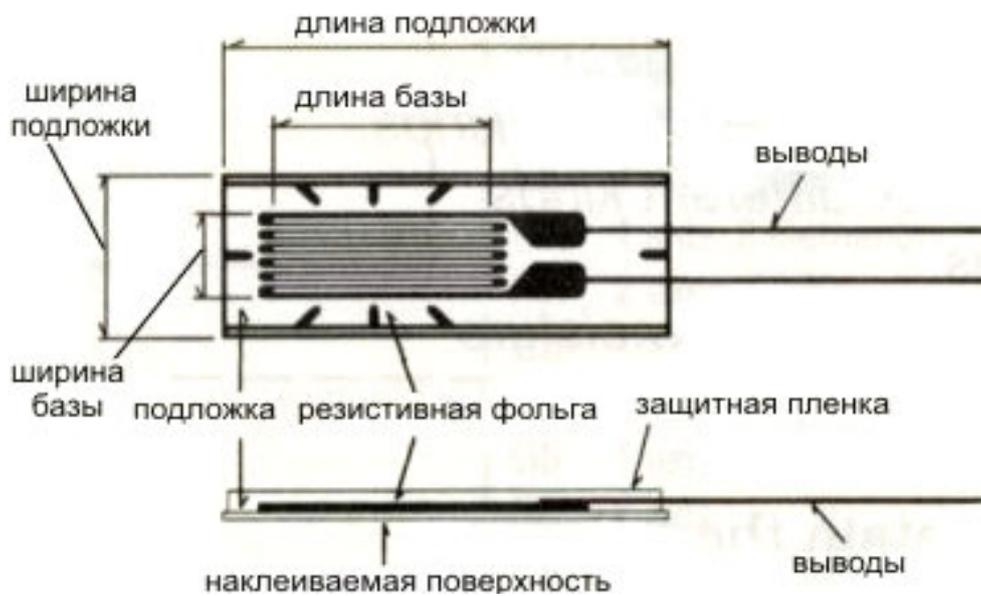


Рис. 1. Схема устройства тензорезистора (вверху) и внешний вид датчика силы (внизу)

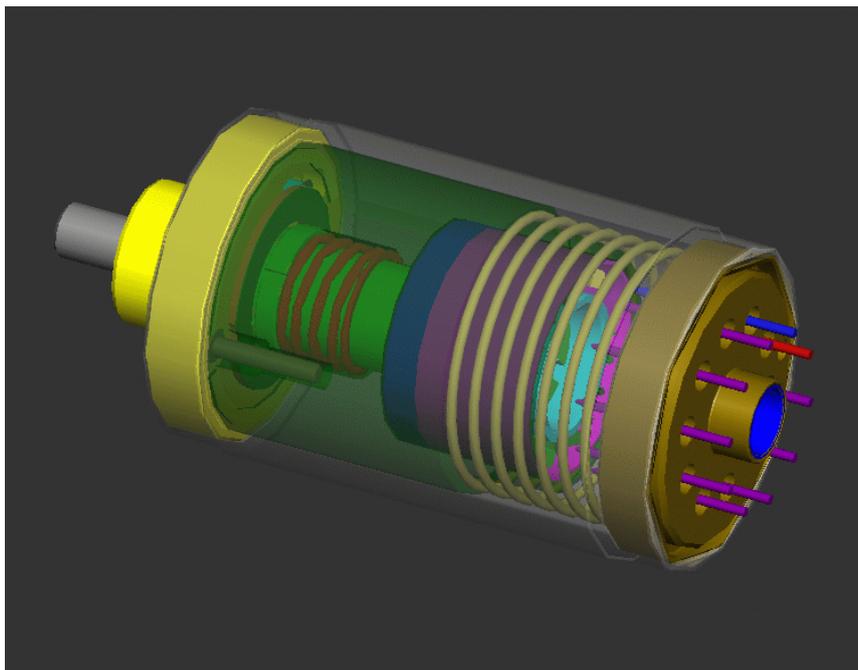
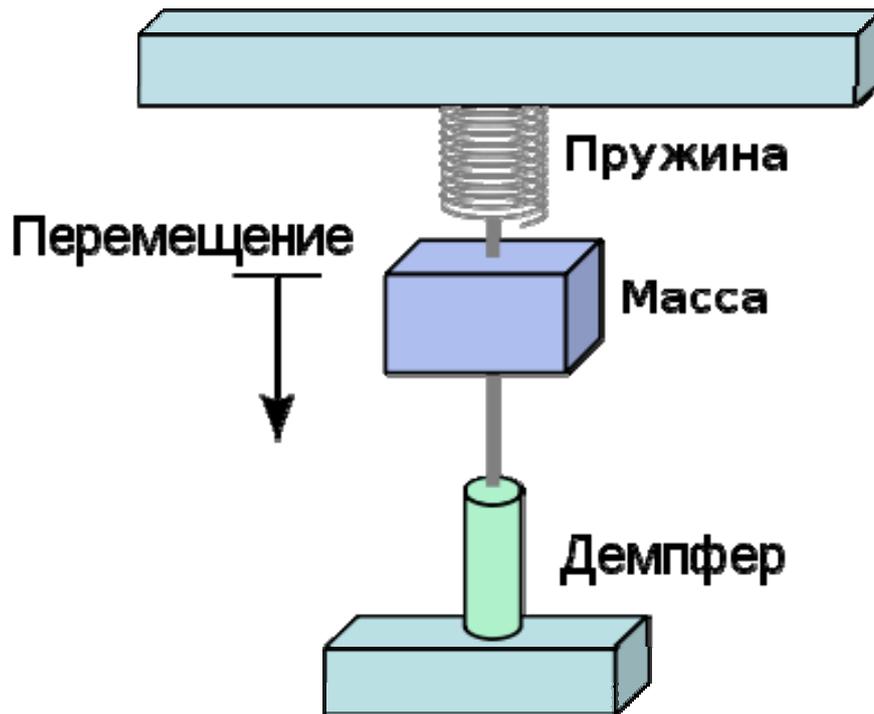
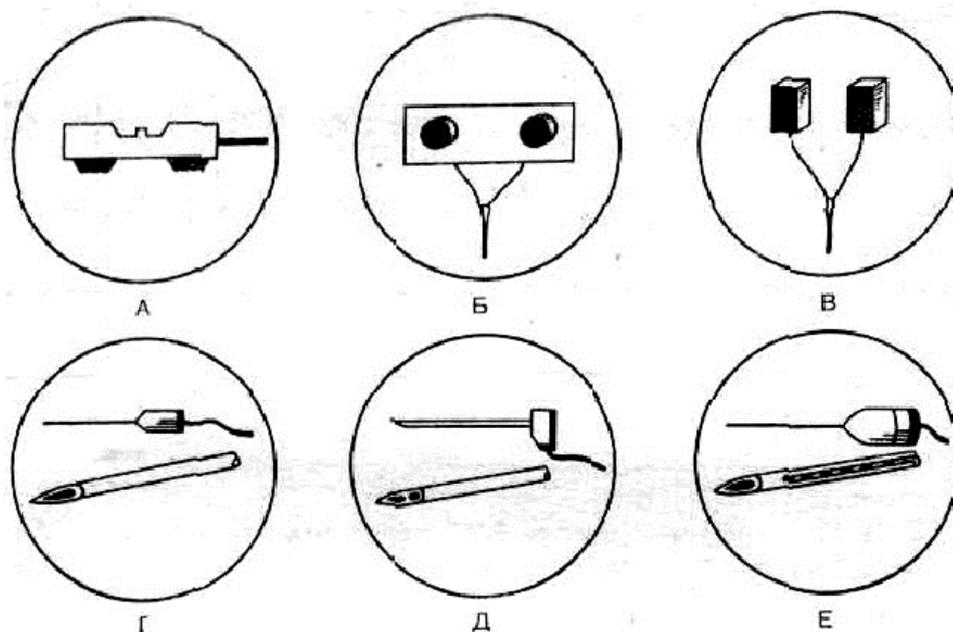


Рис. 2. Принципиальная схема (вверху) и схема устройства (внизу) акселерометра

Электроды – игольчатые и накожные – предназначены для снятия биопотенциалов с работающих мышц (рис. 3).



*Рис. 3. Электроды для электромиографии
(а-в – поверхностные, г-е – игольчатые)*

Преобразователи (они же блок питания датчиков и усилители) могут быть самыми различными – от самодельных устройств до стандартных многоканальных. Позволяют усиливать сигналы с датчиков до уровня, достаточного для использования регистрирующего прибора.

Вычислительное устройство сравнивает сигнал с эталоном (калибровочным сигналом) и по проводам или с помощью радиотелеметрии передает результат на индикатор либо записывающее устройство.

В некоторых случаях измерительная система не включает в себя вычислительное устройство, и анализ материалов производится отдельно с использованием полуавтоматических дешифраторов или даже вручную. В таких случаях о соблюдении принципа срочной информации говорить не приходится.

Для регистрации данных могут использоваться самописцы (например, электрокардиограф), пишущие осциллографы, печатающие устройства. Они обладают своими достоинствами и недостатками. Так, у самописцев при записи быстротекущих процессов может быть слишком большая инертность. Светолучевые (шлейфные) осциллографы лишены этого недостатка, но зато обработка пленки занимает много времени и есть опасность испортить кинопленку при обработке (да и раздобыть такую пленку не так просто). Запись, сделанную ультрафиолетовым лучом на фотобумаге УФ, не надо обрабатывать, но саму запись не увеличить для дешифровки.

Экспериментальные методы определения биомеханических параметров (оптические и оптико-электронные, механоэлектрические, измерения временных интервалов, комплексные)

Для регистрации биомеханических параметров используются методы, заимствованные из многих областей знаний. Эти методы удобно разбить на оптические, оптико-электронные, механоэлектрические, комплексные.

Оптические методы регистрации движений. В зависимости от задач исследования могут применяться:

1. Обычная фотография для определения структуры позы.
2. Фотография с многократной экспозицией – для получения информации о движениях в плоскости съемки (рис. 4). При использовании этих видов фотосъемки тремя синхронизированными аппаратами получают изображение объекта в трех плоскостях.



Рис. 4. Фотографирование с наложением выполнения броска мяча в прыжке

3. Циклографическая (стробографическая) съемка. Производится через obtюратор или с использованием пульсирующих маркеров, а также источников света. Позволяет получить готовый достоверный промер движения (рис. 5).

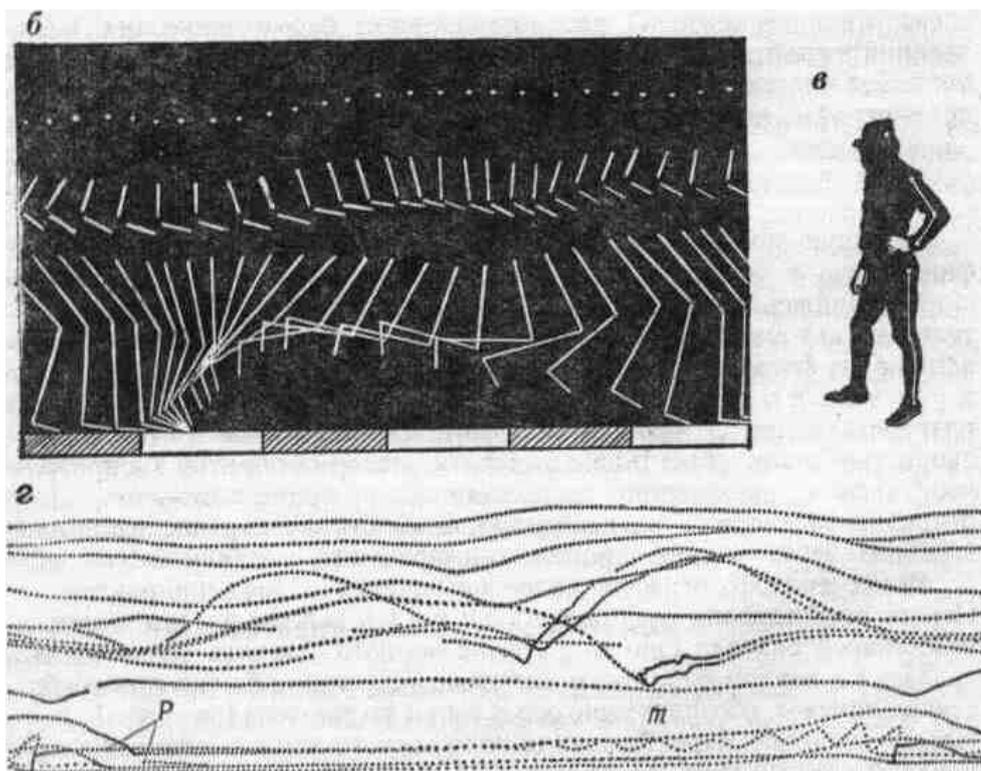


Рис. 5. Циклографическая регистрация движений:
 б – хронограмма бега (по Маррею); в – костюм для хронофотографии
 (по Маррею); г – циклограмма лыжного хода (ориг.)

4. Стереостробофотография. Ее достоинством является документальная точность локализации точек в кадре по трем координатам в последовательные моменты времени, интервалы между которыми заданы электронным, а не механическим устройством.

5. Киносъемка – общедоступный информативный педагогический и биомеханический метод исследования движений в спорте. В зависимости от скорости протяжки пленки аппаратура делится на стандартную (24 к/с), «лупу времени» (до 300 к/с), и специальные высокочастотные (до 5000 к/с) кинокамеры.

Испытуемый должен быть в плотно облегающем костюме с контрастными метками над осями суставов. Место исследования выбирают исходя из размаха перемещений объекта. Освещение должно обеспечивать достаточную кратковременность экспозиции. Для уменьшения искажений по краям снимка используют длиннофокусные объективы. Оптимальное расстояние между объективом и объектом (E_0) определяется по формуле:

$$E_0 = VFk / Cf,$$

где V – скорость объекта, м/с; F – фокусное расстояние, см; k – отношение времени экспонирования ко времени смены кадров; C – разрешающая способность аппарата, см; f – частота киносъемки, к/с.

Оптико-электронная регистрация движений преимущественно осуществляется с помощью видеозаписи. В этом случае движения могут быть сразу же воспроизведены на экране и использоваться для прикладного педагогико-биомеханического анализа, позволяют давать срочную количественную оценку движений.

По материалам кино- и видеосъемки, проведенной с соблюдением всех технических требований к их организации, можно определить ряд механических характеристик положения или движения тела. Обычная фотография или кадр пленки является документом для определения в плоскости съемки следующих показателей:

- 1) координат центров тяжести звеньев или ОЦТ тела;
- 2) моментов сил тяжести звеньев;
- 3) суставных углов;
- 4) моментов и углов устойчивости;
- 5) моментов инерции звеньев и тела.

Анализ нескольких кадров связан с прослеживанием этих же характеристик во времени.

Зависимость координат точек тела от времени представляет закон их движения в выбранной системе координат. Эти данные необходимы для количественной оценки качества движений. Динамика суставных углов, моментов сил тяжести и условий работы мышц составляет предмет анализа движений человека как биомеханической системы, управляемой ЦНС. Изменение момента инерции тела раскрывает механизм построения сложных вращательных движений.

Механоэлектрические методы определения биомеханических характеристик.

Оптические и оптико-электронные методы исследования не позволяют (за редким исключением) проводить количественную оценку движения сразу после измерения, так как получению конечного результата предшествуют этапы обработки материалов и расчета по ним биомеханических характеристик. Это существенно ограничивает возможность использования результатов исследования в тренировочном процессе. Механоэлектрические методы в значительной мере свободны от этого недостатка. Они заключаются в преобразовании измеряемой механической величины в электрический сигнал и последующем измерении (или регистрации) и анализе его.

Основным преимуществом механоэлектрических методов измерения биомеханических переменных являются оперативность получения измеряемых характеристик и возможность автоматизации расчета непосредственно не измеряемых характеристик. Самым распространенным из этой группы методов является *тензодинамометрия*. В процессе вы-

полнения упражнения человек механически взаимодействует с внешними телами (опорой, снарядом, инвентарем). Эти тела деформируются. Причем величина деформации, как правило, пропорциональна силе воздействия. Для регистрации этих деформаций чаще всего используются тездатчики, но могут применяться и реостатные датчики.



Рис. 6. Тензодинамометрическое кресло

В большинстве случаев тензометрическая аппаратура используется непосредственно для определения силовых характеристик спортивных движений и изучения на этой основе динамической структуры двигательных действий.

Широкое распространение получили тензоплатформы – устройства, позволяющие определять взаимодействие человека с опорой при отталкивании. Составляющие реакции опоры (вертикальная и горизонтальные) регистрируются независимо от точки контакта с прибором.

Стабилометрия. С помощью тензометрической аппаратуры можно исследовать также перемещение точки приложения усилия к тензоплатформе. Такое перемещение может происходить как из-за передвижения испытуемого, так и из-за изменения положения его ОЦТ при перемене позы. Для этих измерений требуется многокомпонентная тензоплатформа, с помощью которой измеряются отдельно составляющие реакции во всех опорах, установленных по углам платформы.



Рис. 7. Стабилометрия

Акселерометрия. Одной из наиболее важных характеристик движения является линейное ускорение. Определять его также можно также с помощью тензометрической аппаратуры. В данном случае тензодатчик регистрирует деформацию упругой пластины, связанной с движущимся объектом. Так как масса датчика (m) и упругость пластины (C) величины постоянные, то перемещение массы датчика относительно объекта будет пропорционально линейному ускорению объекта. Параметры акселерометра подбираются таким образом, чтобы собственная частота колебаний датчика – $f = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{m}{C}}$ – была в три–четыре раза больше максимальной частоты изучаемого процесса.

Гониометрия – измерение у человека углов в сочленениях тела. Суставной угол является важной биомеханической характеристикой, например при определении программы позы. От суставного угла зависит сила тяги мышцы (то есть ее длина и ее плечо относительно оси сустава).

Для непосредственного измерения суставных углов применяются механические и электромеханические гониометры. В последних используются реостатные потенциометры. Корпус потенциометра жестко связывается с одной из планок гониометра, а с другой – его ось.



Рис. 8. Гониометрия

Механография – запись движения. Осуществляется также с помощью потенциометров. Перемещающаяся точка соединяется малорастяжимой нитью с осью датчика. Движения с большой амплитудой могут быть зарегистрированы, если на ось потенциометра надеть кольцо (блок) соответствующего диаметра.

Электромиография – способ регистрации электрической активности мышц. Позволяет получать информацию непосредственно при выполнении физического упражнения. Можно выделить три основных направления использования электромиографии для изучения двигательной деятельности человека.

1. Характеристика активности отдельных двигательных единиц мышц.
2. Определение активности отдельных мышц в различных двигательных актах.
3. Характеристика согласования активности мышц, объединенных общим участием в движении.

Для решения биомеханических задач используются главным образом второе и третье направления. При использовании электромиографии для изучения спортивных движений обычно применяются накожные электроды, но иногда используют и игольчатые. Накожные электроды

могут быть моно- и биполярные. В любом случае электромиограмма может отражать электрическую активность тех мышц, над которыми находятся электроды, либо (при монополярном отведении) активность мышц, которые находятся между активными и индифферентными электродами.

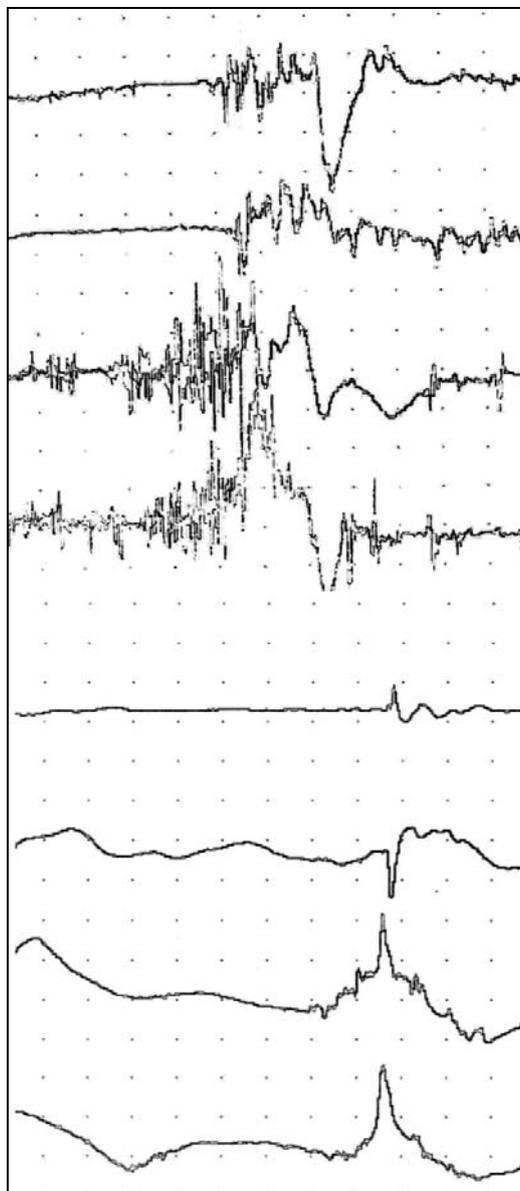


Рис. 9. Электромиограмма мышц нижних конечностей при прыжке

Следует учитывать, что регистрируемая величина биопотенциалов зависит от трех факторов. От положения электродов относительно мышцы – при расположении вдоль волокон, а также вблизи от двигательной точки (место входа нерва в мышцу) потенциалы больше. От электропроводности кожи – кожу следует обезжировать эфиром. От формы и размеров электродов – следует пользоваться одними и теми же или, в крайнем случае, одинаковыми.

В любом случае электромиограмма может использоваться как показатель состояния механизмов координации движений в качестве эквивалента механических явлений (напряжения, тяги), возникающих в мышце при ее возбуждении. Н.В. Зимкин и М.С. Цветков (1988) показали, что по сглаженной электромиограмме можно судить об участии в движении мышечных волокон разного типа (быстрых, промежуточных и медленных), а следовательно, и о составе мышцы. Сглаженную электромиограмму проще обрабатывать, чем натуральную, по сглаженной электромиограмме можно рассчитывать скорость возбуждения мышцы.

Методы измерения временных показателей. Если траектория известна заранее, а амплитуда движения велика (несколько метров), то регистрировать время прохождения отрезков можно с помощью фотодатчиков. Сигналы от датчиков либо выключают электросекундомеры (каждый датчик – свой секундомер) либо регистрируются самописцем (осциллографом). В последнем случае точность метода определяется точностью отметчика времени либо точностью лентопротяжного механизма. Степень достоверности результатов прямо зависит от числа установленных на дистанции датчиков.

Комплексные способы исследования. Целью биомеханики является исследование как физических возможностей спортсмена, так и способов решения определенной двигательной задачи. В процессе исследования необходимо выяснить закономерности построения движений, определить взаимосвязь между механическими и биологическими характеристиками, отражающими координацию движений. Эта задача является весьма сложной, так как зависимость между мышечным напряжением и движением не является однозначной, указывал Н.А. Бернштейн. Причиной движения звеньев тела является напряжение мышц, которое обусловлено как степенью возбуждения, так и степенью растяжения мышцы. Таким образом, перемещение звена изменяет длину мышцы и, как следствие, ее напряжение.

Комплексная регистрация биологических и механических характеристик движения является необходимым условием изучения закономерностей управления движениями человека. Она возможна при одновременной записи электрофизиологических и биомеханических показателей движения, когда регистрируется электрическая активность мышц и внешняя картина движения (кинограмма, циклограмма, тензодинамограмма, гониограмма, механограмма). При регистрации этих процессов на различные носители возникает необходимость в применении специальных устройств для синхронизации записи.

К настоящему времени доказана необходимость и исключительная ценность использования многоканальной одновременной регистрации параметров кинематики, динамики и электрической активности мышц

для установления связи между различными феноменами движений и их причинами, а также для реализации идеи оптимального управления тренировочным процессом.

Однако использование в естественных условиях с целью комплексной оценки технического мастерства спортсменов информативных инструментальных методов (тензо-, механо-, электромиографии, кино съемки и др.) обычно связано с большими организационными и методическими трудностями.

Вместе с тем доказано, что в искусственно созданных условиях, обеспечиваемых использованием тренажера, можно получить достоверную информацию о той или иной стороне технической или физической подготовленности. Кроме того, упрощенная структура упражнения позволяет с большей вероятностью оценить характер изменения физического компонента, так как уменьшается влияние технического компонента на результат. И хотя тренажер никогда не заменит целостное движение, есть множество данных о том, что тренажерно-исследовательский комплекс может успешно решать задачи срочной достоверной информации, а также определения того состояния спортсмена, которое гарантирует ему достижение желаемого результата на соревнованиях.

Расчетные методы изучения движений (определение координат, скоростей, ускорений, сил, моментов сил)

Расчетные методы используются как для определения ускорений по известным силам и их моментам («*прямая задача механики*»), так и для определения сил и моментов сил по ускорениям («*обратная задача механики*»). При этом в качестве исходных данных обычно используются кинематические или динамические характеристики, то есть анализ производится с начального или конечного звена явлений, составляющих объект биомеханических исследований (механическое движение человека, причины и проявления этого движения).

Расчетные методы часто применяются для косвенного определения биомеханических характеристик, которые по разным причинам не могут быть измерены (зарегистрированы) непосредственно, например в условиях соревнований.

Однако во многих случаях расчетные результаты значительно отличались от результатов, полученных прямым измерением в аналогичных условиях. Теоретически это объясняется тем, что в основе классических расчетных методов в биомеханике лежит гипотеза эквивалентности неживой и живой массы. Данная гипотеза предполагает, что биологическое тело не меняет своей внутренней структуры под воздействие

управляющих сил и моментов, а также пребывает в неизменной позе. Если это условие не выполняется, то методы классической биомеханики становятся неприменимыми.



Рис. 10. Схема решения прямой (1) и обратной (2) задач биомеханики расчетным методом

Экспериментальные исследования, проводившиеся в течение многих лет в лаборатории биомеханики ВНИИФКа, показали, что ограниченность классических расчетных методов для получения по перемещениям точек данных о величинах ускорений и сил в двигательных действиях с изменением позы вытекает из тех обстоятельств, что в настоящее время нет возможностей для объективной оценки направлений смещения внутренних органов, масс крови и лимфы. В рамках алгоритмов расчетов также не учитывается передача сил или энергии от звена к звену или их поглощение и рассеивание (Ратов И.П., Попов Г.И., 1996). В этих же работах экспериментально подтвердилась мысль Н.А. Бернштейна о том, что не существует однозначной связи между мышечным напряжением и механическим движением (так как каждое движение – результат взаимодействия активных и реактивных сил), и было показано, что в биомеханических системах функция «сила–ускорение» – нелинейная, то есть значительные ускорения при перемещении масс могут не приводить к появлению усилий.

Контрольные вопросы

1. Постановка задачи исследования.
2. Выбор методик исследования.
3. Понятие об измерительной системе.
4. Основные компоненты измерительной системы
5. Оптические методы регистрации движений
6. Инструментальные методы регистрации движений
7. Расчетные методы.

ГЛАВА 3. ДВИГАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ ЧЕЛОВЕКА, СОЕДИНЕНИЕ ЗВЕНЬЕВ И СТЕПЕНИ СВОБОДЫ

- *Виды нагрузок и характер их действия.*
- *Биомеханические пары и цепи. Степени свободы и связи в биокинематических цепях.*
- *Звенья тела как рычаги и маятники.*
- *Трехзвенная модель человеческого тела.*

Движения человека в значительной мере зависят от строения тела и свойств его тела. Чрезвычайная сложность строения (206 костей – 170 парных, 36 непарных, 639 скелетных мышц, около 230 суставов) и многообразие свойств тела делают движения человека и управление ими весьма сложными, но и удивительно разнообразными. Биомеханика изучает в теле человека те особенности строения, которые существенны для совершенствования движений. При этом рассматривается упрощенная модель тела человека – биомеханическая система. Современное представление об анализе движений (техники) связано с понятием «биомеханизм». *«Биомеханизм – модель части или всего опорно-двигательного аппарата, обеспечивающая достижение цели двигательного действия за счет преобразования одного вида энергии в другой»* (В.Н. Селуянов, 1995). Его элементы – мышцы, суставы, кости.

Виды нагрузок и характер их действия

Силы, приложенные к телу и в совокупности вызывающие его деформации, называются нагрузками (деформация – изменение формы и размеров).

К основным видам деформаций относятся: растяжение, сжатие, изгиб, кручение и сдвиг (рис. 11). Кости скелета и мягкие ткани при деформации под действием приложенных сил (нагрузок) противодействуют им.

Нагрузки, обуславливающие **растяжение**, – это самые характерные нагрузки для мягких тканей. Они возникают, например, при висах (см. рис. 11, *а*) или во время удержания груза в опущенных руках.

Нагрузки, создающие **сжатие** костей и хрящей, встречаются чаще всего при вертикальном положении тела на опоре. В этом случае на скелет действуют, с одной стороны, силы тяжести тела и вес внешних отягощений, а с другой – давление опоры (см. рис. 11, *б*).

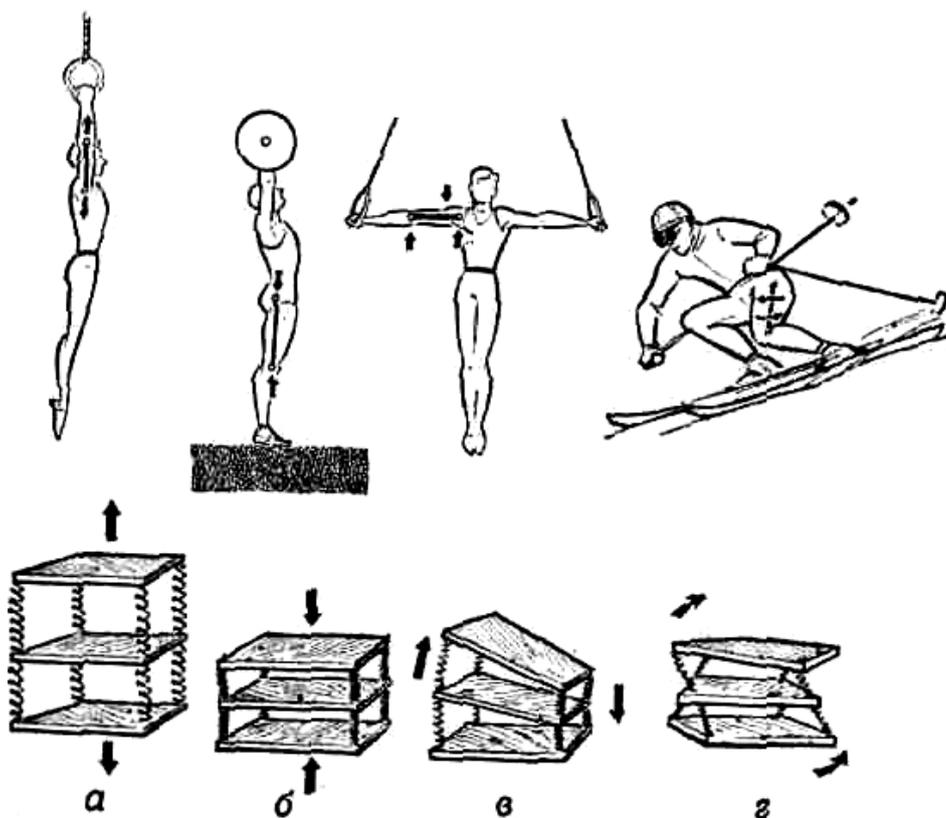


Рис. 11. Нагрузки, вызывающие деформацию: а – растяжение; б – сжатие; в – изгиб; г – кручение. На схемах внизу – смещение элементов

Нагрузки, вызывающие **изгиб**, обычно встречаются, когда кости выполняют роль рычагов. В этих случаях приложенные к ним силы мышц и силы сопротивления направлены поперек костей и вызывают изгиб (см. рис. 11, в).

Наконец, нагрузки, обуславливающие **кручение**, чаще всего встречаются при вращательных движениях звена вокруг продольной оси (см. рис. 11, г).

По характеру действия различают нагрузки статические и динамические. Первые обычно постоянны по величине и, как правило, относительно невелики. Вторые возникают при движениях, когда приложены силы инерции; они изменяются и могут нарастать до очень больших величин (например, нагрузки на сжатие после падения с большой высоты, нагрузки на изгиб при ударе). Такие динамические нагрузки, особенно действующие не в обычном направлении (например, при ударе поперек кости), могут превысить запас прочности того или иного звена, тогда произойдет повреждение двигательного аппарата.

Мышцы, суставные сумки, связки, а также хрящи, соединяющие кости скелета, деформируясь, уменьшают действие динамических нагрузок. Особенно большую роль в смягчении этого действия играют

благодаря своей упругости мышцы. Если они недостаточно амортизируют нагрузку, то повреждаются связки и хрящи, а иногда даже и кости и сами мышцы.

Упругие деформации

Упругие деформации возникают в теле под действием нагрузки и исчезают при ее снятии.

Изменение формы (деформация) под действием приложенных к ней сил – свойство всех реальных тел. Абсолютно твердых тел, которые не деформируются ни при каких условиях, в природе не существует.

В случае *упругой* деформации форма тела после прекращения действия деформирующей силы восстанавливается (например, стальная пружина) в отличие от *пластической* деформации, которая остается после снятия нагрузки, т. е. прежняя форма уже не возвращается (например, сырая глина). Таким образом, ***упругость*** – свойство тела самостоятельно ***восстанавливать*** после деформации свою форму.

Упругая сила (сила упругого напряжения), противодействуя изменению формы, нарастает и в конце концов прекращает деформацию как ***останавливающая сила*** – в этот момент она становится равной деформирующей нагрузке. Эта же упругая сила при снятии нагрузки возвращает прежнюю форму тела как ***восстанавливающая сила***. Напряжение деформированного тела измеряется в килограммах на квадратный сантиметр его сечения.

Рассмотрим зависимость между деформацией тела и напряжением (на примере мягкой стали). Можно выделить четыре основных варианта:

- зона ***линейной упругости*** – напряжение прямо пропорционально деформации (идеальная пружина). После разгрузки деформация полностью исчезает;
- зона ***нелинейной упругости*** – на равные приращения деформации приходятся все меньшие (как у мягкой стали) или все большие (как у мышцы) приращения напряжения. После разгрузки форма тела полностью восстанавливается;
- зона ***пластической деформации*** – с увеличением деформации напряжение нарастает; после разгрузки форма тела восстанавливается не полностью (остаточная деформация);
- зона ***разрушения*** – тело начинает разрушаться.

Зоны деформации различны у разных тел. Несколько упрощая, можно сказать, что у каждого тела в определенных условиях одна из зон больше других. Поэтому принято называть тело в зависимости от **преобладающей зоны деформации линейно упругим, нелинейно упру-**

гим, пластическим или **хрупким**. Как было сказано выше, после упругой деформации происходит полное восстановление формы; после пластической может произойти некоторое ее восстановление, но будет еще остаточная деформация.

В пределах малых деформаций упругих тел **напряжение пропорционально деформации**. Это выражено в *законе Гука*: $\sigma = E\varepsilon$ (линейная упругость) – растяжение нагруженного тела прямо пропорционально нагрузке. Коэффициент E (коэффициент пропорциональности) называется модулем Юнга (продольной упругости). Он показывает, насколько изменяется напряжение при деформации данного тела, как тело сопротивляется деформации. Тела, для малых деформаций которых необходимы большие нагрузки, вызывающие большие напряжения, называются жесткими. Например, для чугуна модуль Юнга равен $900\,000\text{ кГ/см}^2$; для кожаного ремня – 2000 кГ/см^2 ; для мышцы – от 10 до 120 кГ/см^2 и более. Считают, что модуль мышцы может изменяться более чем в 100 раз (приближенные данные).

Биомеханические пары и цепи (незамкнутые, замкнутые, разветвленные)

Биомеханическая система состоит из биомеханических пар и цепей – подвижно соединенных частей (сегментов) тела. *Биокинематическая пара* – это подвижное (кинематическое) соединение двух костных звеньев, в котором возможности движений определяются строением этого соединения и управляющим воздействием мышц. *Биокинематическая цепь* – это последовательное (разветвленное) незамкнутое либо замкнутое соединение ряда кинематических пар.

В незамкнутых цепях есть конечное свободное звено, входящее в одну пару. В замкнутой цепи каждое звено входит в две пары. Поэтому в незамкнутой цепи возможны изолированные движения в каждом суставе. В замкнутой цепи в движение одновременно вовлекаются все соединения.

Замкнутыми кинематическими цепями в теле человека являются, например, грудина, ребро, позвоночник, ребро и снова грудина.

Такие замкнутые цепи разомкнуть невозможно. Незамкнутые могут замыкаться, причем часто через опору. В сложной пирамиде, составленной несколькими акробатами, образуются даже своего рода «сети» (в плоскости) и «решетки» (в пространстве) с очень сложной взаимной зависимостью движений звеньев.

В замкнутой или замкнувшейся цепи невозможно одиночное изолированное движение, т. е. движение в одном соединении. Так, сгибающая и

выпрямляя ноги в выпаде, можно убедиться в том, что движение в любом суставе непременно вызывает движения и в других.

В замкнутых цепях возможностей движений меньше, но управление ими точнее, чем в незамкнутых.

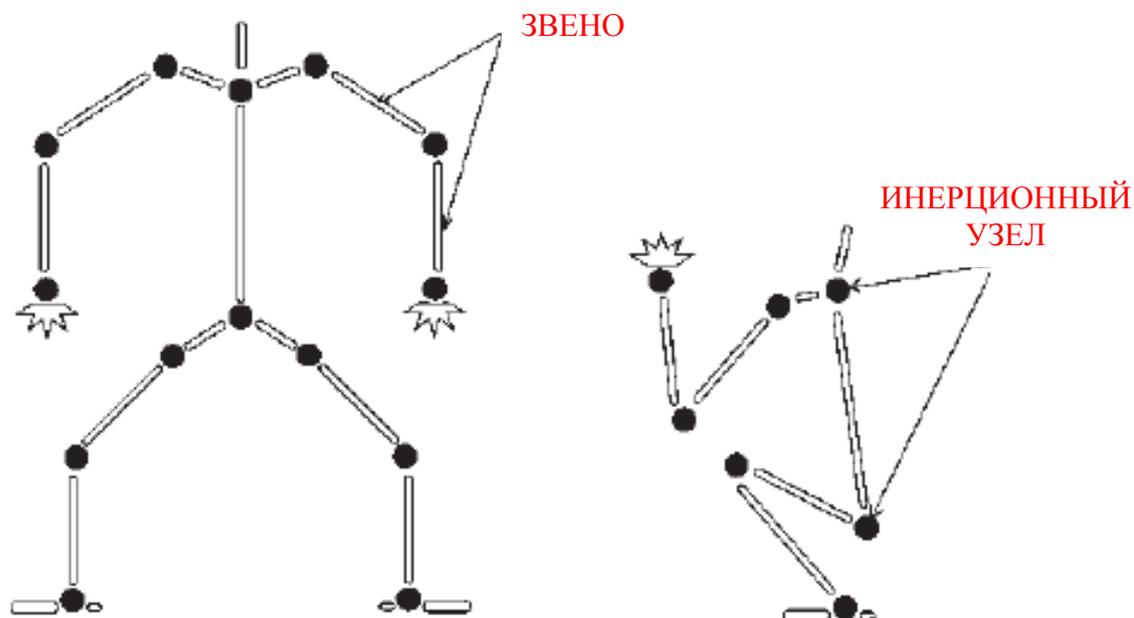


Рис. 12. Биомеханические пары и цепи

Степени свободы и связи в биокинематических цепях. Степень свободы – возможность выполнить движение в каком-либо направлении. Степень связи – невозможность выполнить движение в каком-либо направлении. Различают связи геометрические (постоянные препятствия, например костные ограничения) и кинематические (ограничение скорости, например мышцей-антагонистом).

Если у физического тела нет никаких ограничений, оно может двигаться в пространстве в трех измерениях и вращаться вокруг трех осей. Такое тело имеет шесть степеней свободы. Каждая связь уменьшает число степеней свободы. Фиксация одной точки свободного тела лишает его трех степеней (линейных перемещений вдоль осей координат). Закрепление двух точек оставляет одну степень свободы – вращение вокруг продольной оси тела.

Почти во всех суставах тела человека (кроме межфаланговых, лучелоктевых и атлантоосевого), степеней свободы больше, чем одна. Это обуславливает неопределенность движений, множество возможностей движений («неполносвязный механизм»).

Управляющие воздействия мышц создают дополнительные связи и оставляют для движения только одну степень свободы. Это превращает тело в «полносвязный механизм».

Звенья тела как рычаги и маятники

Скелет, составленный из подвижно соединенных костей, представляет собой твердую основу биокинематических цепей. Звенья цепей с приложенными к ним силами (мышечной тяги и др.) в биомеханике рассматриваются как система составных рычагов.

Костные рычаги (звенья, тела подвижно соединенные в суставах) под действием приложенных сил могут либо сохранять свое положение, либо изменять его. Костные рычаги служат для передачи работы и движения на расстояние. Силы, действующие на рычаг, можно объединить в две группы.

1. Силы или их составляющие, лежащие в плоскости оси рычага, не влияют на вращение вокруг этой оси.
2. Силы или их составляющие, лежащие в плоскости, перпендикулярной оси рычага, могут рассматриваться как силы движущие и как силы сопротивления (тормозящие).

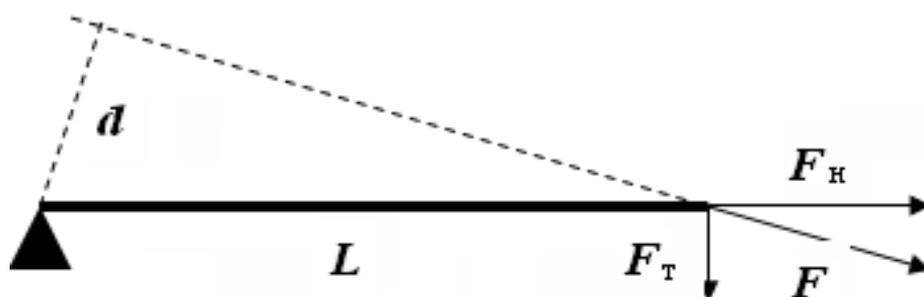


Рис. 13. Основные элементы рычага

Каждый рычаг имеет следующие элементы: точку опоры O , точки приложения сил, плечи рычага (L) – расстояния от точки опоры до точек приложения сил, плечи сил (d) – расстояния от точки опоры до линии действия сил (перпендикуляры, опущенные из точки опоры на линии действия сил). F_n – нормальная (перпендикулярная к направлению движения рычага в данной точке) составляющая силы F . F_t – тангенциальная (касательная к направлению движения рычага в данной точке) составляющая силы F .

Рычаги в биокинематических цепях. Мерой действия силы на рычаг служит ее момент относительно точки опоры: $M = Fd$.

По характеру расположения оси вращения, точек приложения равнодействующей сил сопротивления (P) и движущих сил (F) различают костные рычаги трех видов.

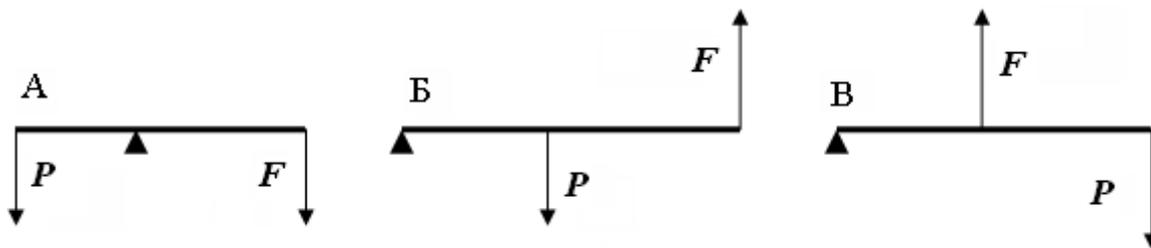


Рис. 14. Виды рычагов: А – рычаг первого рода (двуплечий). Б – рычаг второго рода (одноплечий), рычаг силы. В – рычаг третьего рода (одноплечий), рычаг скорости

В теле человека практически все рычаги – это рычаги третьего рода. Исключение составляют голова, таз в положении основной стойки и стопа – рычаги первого рода.

Условия равновесия и ускорения костных рычагов. Если противоположные относительно оси сустава моменты сил равны, звено сохраняет свое положение либо продолжает свое движение с прежней скоростью. Но если один из моментов сил больше другого, звено получает ускорение в направлении его действия. В реальных условиях равновесие встречается редко, поэтому движения выполняются с ускорением (замедлением).

Во всех движениях угол между направлением равнодействующей силы и осью звена (рычага) меняется. Плечо рычага при этом постоянно, а плечо силы меняется, меняется и сама сила. Большинство рычагов в теле человека – это рычаги скорости, работающие с проигрышем в силе. Этот проигрыш возникает по трем основным причинам: прикрепление мышцы вблизи сустава; тяга мышцы не под прямым, а под острым или тупым углом к оси рычага; напряжение мышц-антагонистов.

Биокинематические маятники. Звено, движущееся по инерции, имеет сходство с маятником. Угловое ускорение звена как маятника:

$$\varepsilon = M/J = Fd/mR^2_{\text{инерции}}$$

Составные маятники ведут себя гораздо сложнее.

«Золотое правило» механики в движениях человека

Работа, совершаемая силой, приложенной на одном плече рычага, передается на другое плечо.

Сила тяги мышцы, приложенная на коротком плече рычага, вызывает во столько раз большее смещение другого плеча, во сколько первое плечо короче второго; налицо выигрыш в пути. В связи с тем, что разные пути проходятся за одно и то же время, здесь имеется выигрыш в скорости. Сила, передаваемая на длинное плечо рычага, как раз во

столько же раз меньше, чем приложенная. Таким образом, выигрыш в скорости достигается за счёт проигрыша в силе.

Почти все мышцы в теле человека прикрепляются вблизи суставов (короткое плечо рычага); это приводит к выигрышу в пути (а следовательно, и в скорости) при проигрыше в силе. При большей части положений костного рычага мышечные тяги направлены под острым или тупым углом к звену (вдоль звена), что влечет невосполнимые потери в силе мышц (уменьшается вращающая тяга). Нормальная же (скрытая) тяга в этом случае способствует укреплению сустава, через который переходит мышца.

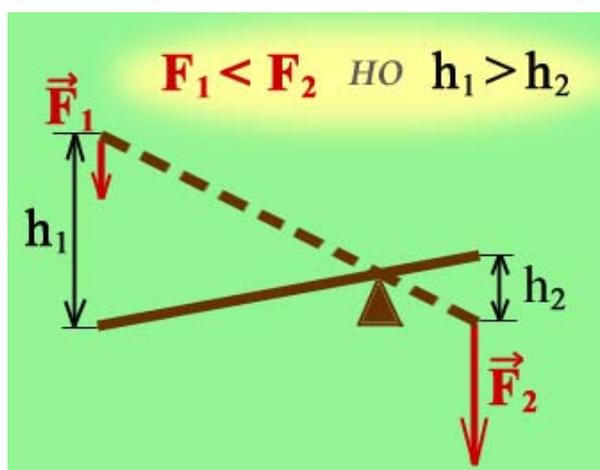


Рис. 15. «Золотое правило» механики

При больших нагрузках напрягаются **все** мышцы, окружающие сустав, в том числе и антагонисты. При этом резко возрастают потери в суммарной тяге мышц; в то же время достигается и положительный эффект – укрепление нагруженного сустава.

В связи с особенностями приложения мышечных тяг к костным рычагам необходимы весьма значительные напряжения мышц для выполнения не только силовых, но и скоростных движений.

Входящие в биокинематические цепи звенья тела образуют системы составных рычагов, в которых «золотое правило» механики проявляется намного сложнее, чем в простых одиночных рычагах.

Трехзвенная модель человеческого тела

Для моделирования движений тела человека в сагиттальной плоскости предлагается использовать трехзвенную систему, звенья которой соединены последовательно с основанием и друг с другом посредством точечных шарниров (рис. 16). Такая модель применима в предположении, что стопа не отрывается от земли, руки и голова неподвижны относительно корпуса, углы в одноименных суставах обеих ног совпадают.

Масс-инерционные характеристики звеньев принимаются равными масс-инерционным характеристикам левой и правой голени – для нижнего звена, левого и правого бедра – для среднего звена, корпуса, головы и рук – для верхнего звена. Длины звеньев берутся равными расстояниям от оси вращения голеностопного сустава до оси коленного сустава, от оси коленного до оси тазобедренного, от оси тазобедренного сустава до центра масс верхнего звена – для нижнего, среднего и верхнего звеньев соответственно. Для простоты предполагается, что центры масс лежат на звеньях.

Положение описанной системы может быть задано тремя обобщенными координатами. В качестве таковых берутся суставные углы ψ_1, ψ_2, ψ_3 (рис. 16).

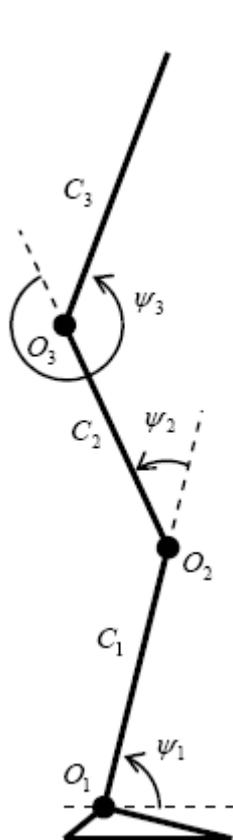


Рис.16. Трехзвенная модель тела человека

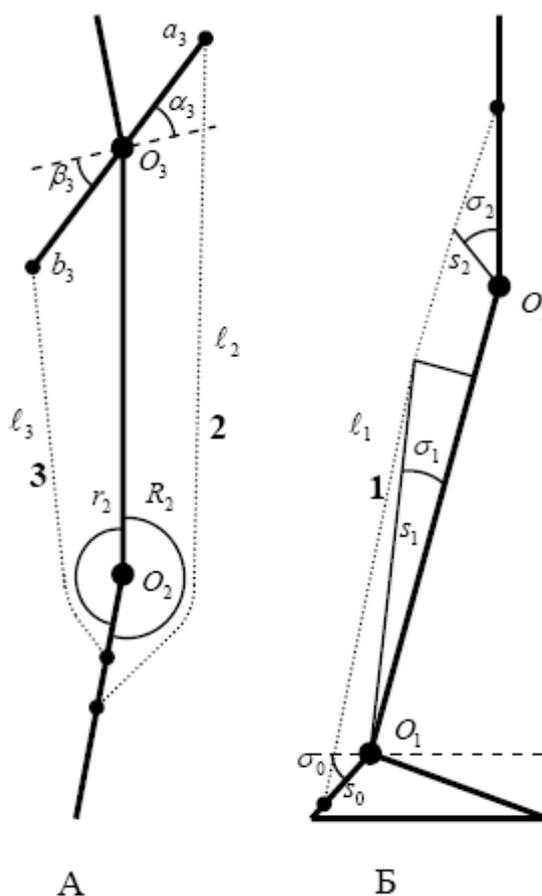


Рис. 17. Обозначение мышц на трехзвенной модели

Система находится под действием силы тяжести и противодействующих ей мышечных усилий. В модели рассматриваются только двусуставные мышцы. Предполагается, что в стабилизации вертикальной позы участвуют три группы двусуставных мышц: группа задних

двусуставных мышцы голени (далее обозначается индексом «1»), группа передних двусуставных мышц бедра (индекс «2»), группа задних двусуставных мышц бедра (индекс «3»).

Для описания мышц используется «нитяная модель», согласно которой в каждый момент времени мышца может быть заменена нитью соответствующей длины и натяжения, соединяющей точки крепления мышцы к скелету (рис. 17). Указанная схема успешно применялась при решении различных задач.

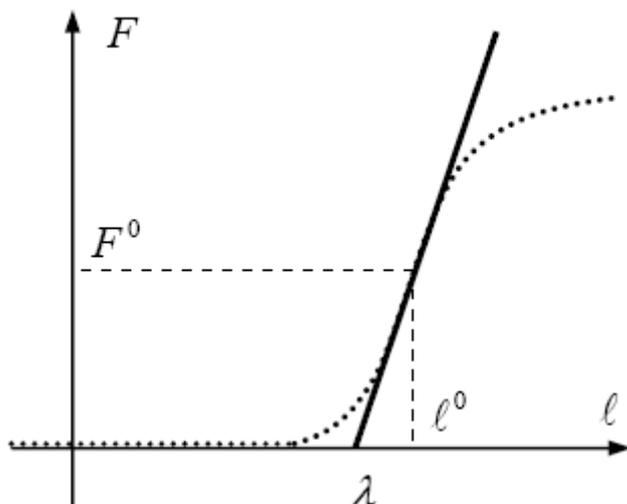


Рис. 18. Модель Фельдмана (пунктир) и ее аппроксимация (сплошная линия)

Для описания мышечных усилий принята λ -модель Фельдмана (гипотеза равновесной точки). Согласно этой модели, статические усилия, развиваемые мышцами, определяются текущей длиной мышцы и значением управляющего параметра λ , соответствующего порогу стретч-рефлекса (рефлекс, вызывающий сокращение мышцы в ответ на ее растяжение) (рис. 18).

Контрольные вопросы

1. Виды нагрузок и характер их действия.
2. Упругие и неупругие деформации.
3. Биомеханические пары и цепи.
4. Степени свободы и связи в биокинематических цепях.
5. Звенья тела как рычаги и маятники.
6. Условия равновесия и ускорения рычагов.
7. «Золотое правило» механики.
8. Трехзвенная модель человеческого тела

ГЛАВА 4. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАБОТЫ МЫШЕЧНОГО АППАРАТА

- *Биодинамика мышц. Механические свойства мышц.*
- *Механика мышечного сокращения.*
- *Механические, анатомические и физиологические условия тяги мышц.*
- *Разновидности работы мышц.*
- *Результат тяги мышц в биокинематической цепи.*
- *Групповые взаимодействия мышц.*
- *Взаимодействие групп мышц при разных сопротивлениях.*
- *Перераспределение напряжений мышц.*

Биодинамика мышц. Механические свойства мышц

Биомеханические свойства мышц – это их сократимость, упругость, жесткость, прочность и релаксация. Основная функция мышц состоит в преобразовании химической энергии в механическую работу или силу. Главные биомеханические показатели, характеризующие деятельность мышцы, – сила, регистрируемая на ее концах (сила тяги), и скорость изменения длины. Механические свойства мышцы обусловлены свойствами ее элементов и их расположением в мышце.

Современная модель мышцы представляет ее как комбинацию упругих и сократительных компонентов. Упругие компоненты аналогичны пружинам. Энергия упругой деформации такой пружины равна механической работе, которая была затрачена на ее растягивание: $P_d = C(\Delta l)^2 / 2$.

Различают параллельные упругие компоненты – соединительно-тканые образования, составляющие оболочку мышцы и ее пучков, и последовательные упругие компоненты – сухожилия, места перехода миофибрилл в соединительную ткань (рис. 19).

Сократительные компоненты соответствуют тем участкам мышечного волокна (саркомера), где актиновые и миозиновые нити (миофиламенты) перекрывают друг друга. Именно эти участки обеспечивают изменение длины и натяжение мышцы при ее возбуждении.

Покоящаяся мышца обладает упругими свойствами – стремится восстановить свою длину после прекращения растягивания (то есть принимает *равновесную* длину). При этом ее упругие силы равны нулю. В живом организме этого не наблюдается – длина мышцы всегда больше равновесной, мышцы находятся в тонусе.

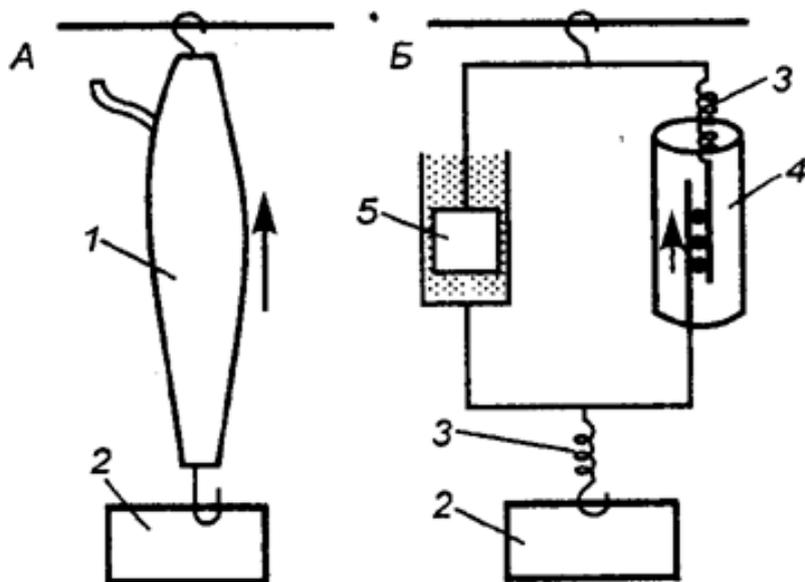


Рис. 19. Механическая модель мышцы

При принудительном растягивании мышцы сила ее тяги изменяется неравномерно, достигая максимума при некоторой длине (длине покоя), и затем уменьшается, так как при чрезмерном удлинении уменьшается количество актин-миозиновых мостиков. Сила тяги мышцы падает не только при значительном увеличении ее длины, но и при уменьшении (сокращении) – механизм тот же (рис. 20).

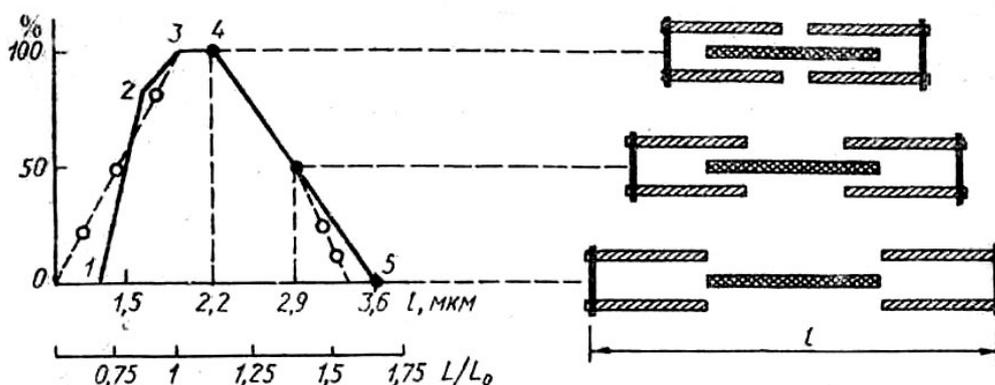


Рис. 20. Зависимость «длина–сила»

Упругие силы, то есть энергия упругой деформации параллельных и последовательных упругих компонентов, вносят весьма значительный вклад в осуществление преодолевающего движения, так как существенно увеличивают силу сокращения мышцы.

Для мышц характерно и такое свойство, как релаксация – снижение силы упругой деформации с течением времени. Если преодолевающее движение по каким-либо причинам не выполняется, то примерно через 0,12 с упругие силы превращаются в тепло и рассеиваются. Так, выполне-

ние прыжка с места (отталкивания, броска) сразу после подседа (амортизации, замаха) повышает мощность преодолевающей работы мышц. Но задержка в подседе, амортизации, замахе снижает результат в упражнении. Также известно, что повторное частое растягивание мышцы позволяет удлинить ее больше, чем одноразовое за счет рассеивания упругих сил.

Механика мышечного сокращения. По признаку «сила тяги – длина мышцы» выделяют следующие режимы мышечного сокращения. *Изометрический* – сила тяги равна внешнему сопротивлению и длина мышцы не изменяется. *Концентрический* (миометрический, преодолевающий) – сила тяги больше внешнего сопротивления, мышца укорачивается. *Эксцентрический* (плиометрический, уступающий) – сила тяги меньше внешних сил, мышца удлиняется.

В лабораторных условиях (при использовании специальных устройств) можно создать режим, когда мышца сокращается при неизменной силе тяги – изотонический режим.

Изолированные режимы сокращения мышц встречаются очень редко. Как правило, при выполнении бытовых и спортивных движений мышцы сокращаются в комбинированных режимах. То есть имеет место анизотонический режим, при котором мышца сначала принудительно удлиняется, затем укорачивается.

Если принять за основу модель мышцы, то следует считать, что тяга на концах мышцы возникает тогда, когда параллельные и последовательные упругие компоненты уже не в состоянии растягиваться. В пользу этого предположения говорит тот факт, что в спринтерском беге удлинение и укорочение трехглавой мышцы голени осуществляется за счет сухожилий, так как брюшко мышцы работает в изометрическом режиме.

Влияние внешнего сопротивления на механические показатели мышечного сокращения. Механические характеристики мышечного сокращения зависят от величины внешнего сопротивления. При его увеличении (стимуляции) отмечается следующее:

1. Латентный период возбуждения мышцы увеличивается. Это связано с увеличением времени, необходимого для достаточного растяжения последовательно упругих компонентов, чтобы сила тяги мышцы превысила внешнее сопротивление.
2. Величина укорочения мышцы уменьшается.
3. Скорость укорочения мышцы падает (рис. 21).

При одной и той же степени стимуляции мышцы ее сила тяги зависит от длины мышцы в данный момент; скорости изменения длины и времени от начала стимуляции.

Если в подготовительном движении (например, замах, подседание) мышца перед сокращением растягивается, то она тормозит движение; ки-

нетическая энергия тормозимого звена переходит в потенциальную энергию упругой деформации мышцы. Теперь растянутая мышца напряжена; в ней накоплена потенциальная энергия упругой деформации. С началом активного движения при возбуждении мышцы в ней образуется механическая энергия напряжения, освобождаемая при биохимической реакции.

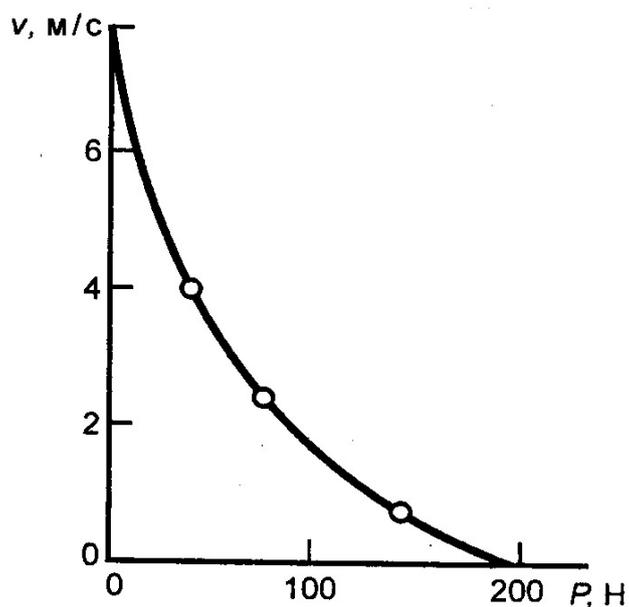


Рис. 21. Зависимость «сила–скорость»

Зависимость энергопродукции мышечного сокращения от биомеханических показателей, преодолеваемого сопротивления и скорости. При сокращении мышцы в динамическом режиме (преодолевающем или уступающем) мышца выполняет работу явно. При сокращении в статическом режиме работы (перемещения) в физическом смысле нет, значит, нет и мощности. Поэтому предлагается рассчитывать величину мощности работы мышц по кривой «сила–скорость». При этом максимальное значение мощности отмечается при значениях силы и скорости сокращения мышцы, примерно равной $1/3$ от максимума.

При сокращении мышца расходует энергию, которая превращается в работу и тепло. В изометрическом режиме, когда механическая работа равна нулю, вся энергия превращается в тепло. Отношение выполненной работы ко всем затратам энергии (КПД) максимально при скорости сокращения мышцы, примерно равной 30 % от максимума. КПД пропорционален скорости сокращения мышцы. Кроме того, возвращаясь к изометрическому сокращению мышцы, следует отметить, что в чистом виде оно не существует. Несмотря на неизменную общую длину мышцы, брюшко ее укорачивается при удлинении последовательных упругих компонент.

Механические, анатомические и физиологические условия тяги мышц

Основным *механическим условием*, определяющим тягу мышц, является нагрузка. Она растягивает мышцу при уступающей работе, против нее мышца выполняет работу преодолевающую. С ростом нагрузки сила тяги мышцы растет, но не беспредельно. Это особенно выражено при больших растягиваниях в связи с проявлением нелинейной упругости. Сила тяги мышцы нарастает лишь до известного предела увеличения нагрузки, после которого дальнейший рост нагрузки уже не вызывает увеличения силы тяги мышцы.

Нагрузка может быть представлена весом отягощения, силой инерции, упругости, трения. Поэтому более корректно говорить о внешнем сопротивлении.

Движение звеньев в кинематической цепи как результат тяги мышц зависит также от закрепления звеньев, соотношения движущих сил и сил сопротивления, начальных условий движения.

Из *анатомических условий* проявления силы тяги мышц наиболее важными являются строение мышцы и ее расположение в данный момент времени. Физиологический поперечник (площадь сечения через все волокна) определяет суммарную тягу и величину упругой деформации волокон. Расположение мышцы в каждый момент движения определяет угол ее тяги относительно костного рычага и величину растягивания, что влияет на величину момента силы тяги мышцы. При углах, отличающихся от прямого, кроме вращающей, есть и укрепляющая составляющая силы тяги. Величины вращающей и укрепляющей составляющих находятся в обратной зависимости. При острых (менее 45°) и тупых (более 135°) углах вращающая тяга меньше укрепляющей.

Физиологические условия можно свести к возбуждению и утомлению мышцы.

Как известно, пучок от 10 до 3000 мышечных волокон (мион) иннервируется одним нервным волокном – отростком одной двигательной нервной клетки передних рогов серого вещества спинного мозга. От количества возбужденных мионов в основном зависит сила тяги мышцы. Максимальное возбуждение наибольшего количества мионов обеспечивает наибольшую силу тяги мышцы.

Кроме того, величина тяги мышцы существенно зависит от скорости ее продольной деформации. При преодолевающей работе с ростом скорости укорочения мышцы ее сила тяги падает. При уступающей работе – наоборот. Кроме того, известно, что на ударное ускорение продолжительностью от 0,001 до 0,008 с тело человека реагирует как жест-

кое тело; на ускорения длительностью от 0,06 до 0,10 с – как эластичское. Это связано с длительностью латентного периода самых быстрых рефлексов, связанных с ориентацией тела человека в пространстве.

Разновидности работы мышц определяются сочетанием их силы тяги и длины. Виды работы мышц (преодолевающая, уступающая, статическая) определяются только характером изменения длины всей мышцы: укорочением, удлинением, сохранением. Для каждого из этих трех случаев существует возможность как минимум трех вариантов изменения силы тяги: увеличение, уменьшение, сохранение. Отсюда выделяют девять типичных разновидностей работы мышц.

Таблица 1

Разновидности работы мышц

Сила тяги	Длина мышцы		
	Уменьшается	Постоянная	Растет
Увеличивается	Движение «до отказа»	Усиление фиксации	Торможение до остановки
Постоянная	Изотоническое преодоление	Постоянная фиксация	Изотоническое уступание
Уменьшается	Разгон до максимальной скорости	Ослабление фиксации	Торможение с уступанием
Вид работы	Преодолевающая	Статическая	Уступающая

Изотонический режим в естественных условиях практически не встречается. Чаще всего мы имеем дело с разгоном до максимальной скорости, торможением до остановки, торможением с уступанием. То есть с разгоном звена или его торможением. В спортивных движениях практически всегда мышцы (сокращаются) в смешанных режимах. Преодолевающей работе предшествует работа уступающая. В этом случае силы упругой деформации вносят существенный вклад в повышение мощности преодолевающих движений.

Результат тяги мышц в биокинематической цепи

Результат приложения тяги мышцы в кинематической цепи зависит:

- а) от закрепления звеньев;
- б) соотношения сил, вызывающих движение, и сил сопротивления;
- в) начальных условий вращения.

Чтобы определить результат тяги мышцы, недостаточно установить величину и направление этой тяги. При различных условиях закрепления звеньев одна и та же тяга приводит к неодинаковому результату – разным движениям звеньев в суставе. В кинематической паре может быть

закреплено одно звено, или оба свободны, или оба закреплены. Соответственно, возникнут ускорения того или иного звена, либо обоих вместе (встречные движения), либо соединение будет фиксировано. Для двусуставной мышцы, не говоря уже о многосуставных, число возможных вариантов результата во много раз больше.

Когда одно или оба звена могут двигаться свободно, величина ускорения зависит от вращающего момента, момента сил внешнего сопротивления и распределения масс звена. Иначе говоря, движение зависит от того, каково **соотношение движущей силы** и соответствующего *сопротивления*.

Наконец, особо важны *начальные условия* вращения – положение звеньев пары и скорость их движения (направление и величина) в момент приложения силы. От них зависит эффект тяги мышцы: ускорение движения, замедление его или изменение направления, изменение величины и направления скорости одновременно.

В кинематических цепях действуют те же факторы, определяющие результат тяги каждой мышцы. Но так как в кинематической цепи все звенья так или иначе взаимосвязаны, то в каждом конкретном случае лишь совокупность всех факторов определяет результат работы мышц в целом.

Групповые взаимодействия мышц

Мышцы, влияющие на движения биокинематических цепей, как правило, функционируют не изолированно, а группами. Взаимодействие осуществляется между мышцами внутри групп, а также между группами мышц.

Рабочие и опорные напряжения

Рабочие напряжения мышц (динамическая работа) обуславливают движения, а опорные напряжения мышц (статическая работа) создают необходимую для этого опору.

Чаще всего человек движется, сохраняя опору. При этом можно отчетливо выделить звенья, имеющие связь с общей опорой тела, т. е. **опорные звенья**, и движущиеся относительно опорных – **подвижные звенья**. Кроме того, многие звенья тела служат опорой для мышц, вызывающих движения других звеньев. Они также делятся на опорные и подвижные звенья. Опорные звенья сохраняют взаимное расположение, а иногда и связь с опорой благодаря мышцам, развивающим **опорные напряжения**. В теле создается опорная цепь («стойка» механизма), как бы фундамент для подвижных звеньев. В этом случае подвижные звенья (рабочая цепь) получают закрепленные точки для мышц, **создающих рабочие напряжения**. Одна часть мышц непосредственно связана с опорными звеньями; другая расположена между подвижными звеньями.

Мышцы, развивающие опорные напряжения, выполняют статическую работу, а развивающие рабочие напряжения – динамическую.

При движениях человека вне опоры цепи звеньев его тела нередко объединяются в блоки благодаря опорным напряжениям мышцы. В этих случаях движения происходят не во всех суставах тела.

Часто в действиях спортсмена статические опорные напряжения заменяются опорными динамическими напряжениями – с малым размахом движения. Так, туловище при различных видах ходьбы или бега обычно не зафиксировано полностью: почти всегда его опорная функция осуществляется при движениях с малым размахом.

Если рабочие напряжения мышц, вызывающих движения подвижных звеньев, велики, то опорные напряжения, закрепляющие неподвижные звенья, тоже должны быть велики. Их напряжения взаимосвязаны.

Взаимодействующие группы мышц

Мышцы, окружающие сустав, при движении разделяются на функциональные группы:

- а) синергисты (совместного действия), выполняющие преодолевающую работу;
- б) их антагонисты (противоположного действия), выполняющие уступающую работу.

Мышцы-синергисты тянут под углом друг к другу. Одна составляющая тяги у них направлена одинаково (движущая тяга), а другая – противоположно. Противоположно направленные составляющие взаимно нейтрализуются, а одинаково направленные – суммируются. По-особому участвуют в движениях *мышцы-антагонисты*. Нет такого движения, при котором они не растягивались бы. Будучи растянутыми, они могут вызвать движение звена тела в обратном направлении (возвратное движение).

Суставы, обеспечивающие более одной степени свободы для звеньев пары, оснащены мышцами, имеющими различные направления тяги. У всех синергистов есть составляющие тяги, направленные в сторону движения. Эти составляющие в сумме создают движущую равнодействующую тягу.

Все антагонисты растягиваются при движении. Одна составляющая тяги у них направлена одинаково – против движения (тормозящая тяга). Поскольку антагонисты (как и синергисты) тянут под углом друг к другу, то они имеют не только тормозящие, но и отклоняющие (нормальные) тяги.

Изменение соотношения нейтрализующих друг друга (нормальных) составляющих тяги синергистов и антагонистов может изменить направление движения. При этом создается перевес суммарной отклоняющей тяги в ту или иную сторону.

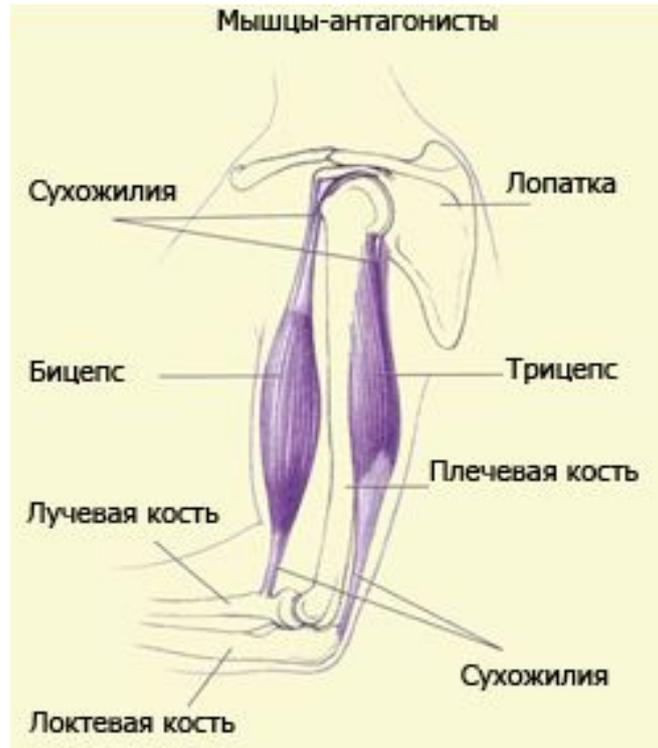


Рис. 22. Взаимодействие мышц-антагонистов

Теперь рассмотрим совместное действие всех тяг, приложенных к звену. *От соотношения движущей и тормозящей тяг* зависят величина равнодействующей (ускоряющей или замедляющей) силы, ускорение звена и, следовательно, *величина его скорости, а от соотношения направляющих тяг – величина силы, определяющей направление движения.* Изменение направления скорости характерно для многоосных суставов, в которых возможно бесчисленное множество вариантов направления движений. Изменение же величины скорости имеет место во всех суставах – и одноосных, и многоосных.

Моментами всех мышечных тяг относительно оси сустава (*главным моментом мышц*) определяются ускорения звена под действием совокупности работающих мышц. Поскольку моменты тяг изменяются, *главный момент мышц непостоянен.*

Совместная тяга групп мышц и действие других внешних сил для звена сил определяют в любом суставе величину скорости, а в суставах с многими степенями подвижности – еще и направление движения.

«Мышцы – главные тормоза движения», – писал П.Ф. Лесгафт. Именно антагонисты притормаживают движущееся звено тела и останавливают его, совершая упругую амортизацию при перегрузке, предохраняя от разрушения кости, хрящи, связки, суставные сумки.

Один из крупнейших русских физиологов А.А. Ухтомский обращал особое внимание на то, что в каждом неодносном суставе заложены воз-

возможности множества механизмов (неполносвязный механизм). Совместное действие групп мышц превращает биокинематическую пару с неодноосным сочленением в *биодинамически полносвязный механизм – с единственно возможным направлением движения*, т. е. исключением всех остальных.

Кроме функциональных групп мышц одного сустава (синергисты, антагонисты), существуют и другие группы совместно действующих мышц. *Двусуставные мышцы* ряда суставов одной кинематической цепи при движении в одном суставе обуславливают, растягиваясь и напрягаясь, содружественное движение в соседних суставах – это так называемая *мышечная координация*. Так, при сгибании тазобедренного сустава сгибается коленный (тяги двусуставных мышц задней поверхности бедра) и разгибается голеностопный (тяги мышц передней поверхности голени) суставы.

Наконец, в замкнутых цепях можно различать группы совместно действующих мышц, обуславливающих благодаря *передаточному действию* одновременные движения в суставах замкнутой цепи.

Взаимодействие групп мышц при разных сопротивлениях

Напряжение синергистов при разных сопротивлениях изменяется соответственно изменению сопротивления, антагонисты же напрягаются преимущественно при уменьшающемся сопротивлении (силы инерции), а также при общих больших нагрузках на сустав.

Все сопротивления движению по их величине можно разделить на постоянные, увеличивающиеся и уменьшающиеся. Примером постоянных сопротивлений служат вес, сила трения; пример *увеличивающихся сопротивлений* – нарастающие силы упругой деформации (упражнения с эспандером). В обоих случаях противодействие антагонистов при регулировании величины скорости не является необходимым.

Действительно, антагонисты при постоянных и нарастающих сопротивлениях не включаются в работу (пока их сильно не растянут). *При уменьшающихся же сопротивлениях* (например, силы инерции во время разгона снаряда) антагонисты быстрее вступают в работу – притормаживают звено и этим обеспечивают точность движения, предупреждая травму в случае предельно быстрого окончания движения (рис. 23).

Напряжения синергистов в этих трех случаях соответствуют сопротивлениям (постоянные, нарастающие, убывающие. Время включения мышц в работу и выключения из нее зависит от конкретных условий движения.

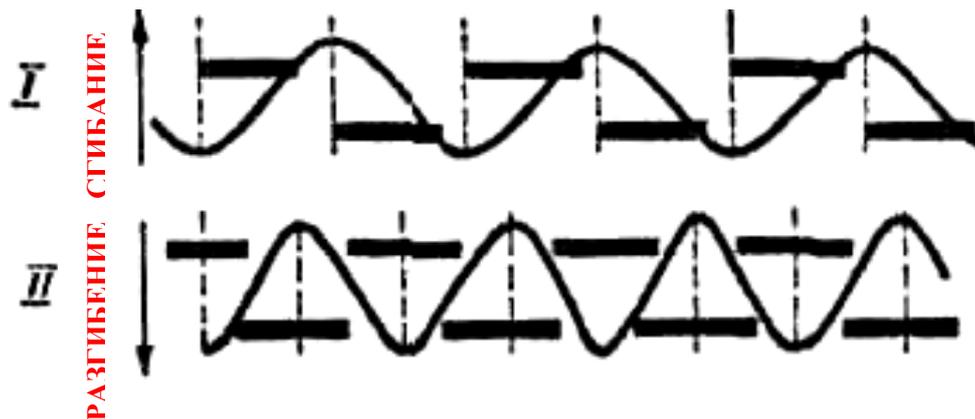


Рис. 23. Взаимодействие антагонистических пар мышц

Роль инерционных и упругих сил при медленных и быстрых движениях не одинакова. Согласование работы синергистов и антагонистов в зависимости от скорости движения существенно различается. Поэтому участие мышц в медленных и быстрых движениях, даже одинаковых по форме, различно.

Перераспределение напряжений мышц

Моменты включения мышцы в работу и выключения из нее определяются зоной ее активности и оптимальной зоной, что приводит по ходу движения к постоянному изменению тяги мышц – перераспределению напряжений.

Каждая мышца имеет в определенном движении свою зону активности, в пределах которой она может выполнять необходимую для этого движения функцию. Границы этой зоны могут составлять пределы возможного размаха движения или позы, по достижении которых мышца уже не в состоянии осуществлять требуемую для данного движения функцию, хотя звено еще способно продолжать движение в этом направлении. Границы зоны активности в многоосном суставе определяются сменой функций мышц в момент их наименьшей длины. Если движение звена продолжается далее этой границы, то и режим мышцы сменяется (с преодолевающей работы на уступающую или наоборот).

Кроме того, у каждой мышцы есть **оптимальная зона действия** при определенном режиме работы. В этой зоне ее тяга в данном движении наиболее эффективна. Границы оптимальной зоны зависят от условий эффективности работы мышцы – от того, как она растянута, под каким углом тянет (каково ее плечо силы).

В пределах оптимальной зоны различают еще **акцентируемый участок**, где момент силы тяги мышцы наибольший. Местоположение этого участка зависит часто от согласования движений с движениями других звеньев.

При входе в соответствующую зону мышца обычно возбуждается, выходя из нее – выключается из активной деятельности, при этом ее напряжение изменяется. Значит, распределение напряжений в группе мышц определенного сустава по ходу движения изменяется. Нервной системой вносятся необходимые уточнения как моментов включения мышц в работу и выключения из нее, так и величины напряжения (коррекции напряжения, вызванные координационным несоответствием тяги других мышц сустава).

Контрольные вопросы

1. Какова схема устройства двигательного аппарата человека?
2. Что такое кинематическая пара и кинематическая цепь?
3. Каковы степени свободы в кинематических цепях тела человека?
4. Дайте понятие о звеньях тела как рычагах.
5. Как проявляется «золотое правило» механики в теле человека?
6. Каковы механические и биохимические свойства мышц?
7. Что влияет на силу мышц?
8. Какие существуют виды работ мышц?
9. Как проявляется групповое действие мышц?

ГЛАВА 5. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА

- Системы отсчета расстояния и времени.
- Пространственные характеристики.
- Временные характеристики.
- Пространственно-временные характеристики.
- Кинематические особенности движений человека.

Системы отсчета расстояния и времени

Движение физического объекта обнаруживается только в сопоставлении положений объекта с положением другого тела (тела отсчета), т. е. как относительное.

Выбор тела отсчета

Телом отсчета называют условно выбранное тело, от которого отсчитывают расстояние при определении изучаемого относительно-го движения.

Движение выражается в изменении с течением времени взаимного положения тел. Его можно наблюдать и отсчитывать только относительно других реальных (например, при прыжке в длину – относительно бруска) или условных тел (например, в старте яхт – относительно линии створа).

В зависимости от условий задачи выбирается та или иная **система отсчета**. При отсчете расстояний надо установить: а) начало, б) направление и в) единицы отсчета. Систему отсчета связывают с определенным *физическим телом отсчета*. Очень важно целесообразно выбрать тело и начало отсчета.

На отсчет расстояний в изучаемом движении совершенно не влияло бы движение тела отсчета без ускорения; но тел, движущихся без ускорения, в природе просто не существует. Условно принято считать «неподвижным», неускоряемым (**инерциальным**) телом отсчета такое тело, ускорение которого столь мало, что не сказывается заметно на отсчете данного наблюдаемого движения.

Например, годовое и суточное движение Земли незаметно при отсчете движений в спортивной практике, хотя скорости движений Земли значительны: скорость точки, находящейся, например, на широте Москвы при суточном вращении Земли вокруг оси равна 0,261 км/с, а при годовом вращении по ее орбите вокруг Солнца – 30 км/с. Землю и неиз-

менно связанные с нею тела (например, спортивные сооружения) и выбирают как практически **инерциальные** тела отсчета.

Иногда целесообразен или просто **неизбежен** выбор «подвижных», т. е. ускоряемых, тел отсчета (**неинерциальных**). Они движутся с такими ускорениями, которые существенно влияют на отсчет движения. Например, определяя, каковы особенности движений ног в тазобедренных суставах у гимнаста при махе на кольцах, можно вести отсчет относительно таза, который сам тоже движется.

От выбора тела отсчета зависят многие характеристики изучаемого движения. Характер движения всех инерциальных тел отсчета, находящихся в относительном покое или прямолинейном и равномерном движении, не влияет на изучаемые характеристики, тогда как характер движения неинерциальных тел отсчета воздействует на них, причем по-разному в зависимости от ускорений.

Само тело отсчета условно рассматривается как абсолютно твердое, т. е. не изменяющее своей формы при любых воздействиях.

Начало и направление отсчета расстояния

На теле отсчета устанавливают начало и направление измерения расстояния.

Физические тела, в том числе и тело человека, в некоторых случаях можно рассматривать как *материальные точки*.

Это возможно, если расстояние, на которое они передвигаются, несравнимо больше их собственных размеров и если можно пренебречь вращательным движением тела (например, при полете диска по траектории). Для точного определения спортивного результата правила соревнований строго предусматривают, по какой точке (пункт отсчета) ведется отсчет (**по уровню лыжных креплений, по выступающей точке грудной клетки спринтера, по заднему краю следа приземляющегося прыгуна и т. п.**).

Итак, либо все движущееся тело рассматривают как материальную точку, до которой измеряют расстояние, либо на нем выделяют **пункты отсчета**. Расстояние измеряется от начала отсчета до пункта отсчета. В качестве последнего выбирается определенная точка движущегося тела человека. В случае вращательного движения выбирают *линию отсчета*.

Существует три основных способа определения движения точки: естественный, координатный и векторный.

При **естественном способе** заранее известна траектория точки; на ней следует выбрать начало (о) отсчета (например, контрольный пункт на трассе дистанции). Тогда положение точки (например, гонщика) на траек-

тории определяется расстоянием ее от начала отсчета (естественная координата). Надо еще указать, с какой стороны от начала отсчета (знаком «+» или «-») расположена на траектории точка (рис. 24, а). Положение точки на линии определяется всего одним числом со знаком «+» или «-».

Координатный способ позволяет определить положение точки в координатах на плоскости и в пространстве. Чаще применяют прямоугольные координаты.

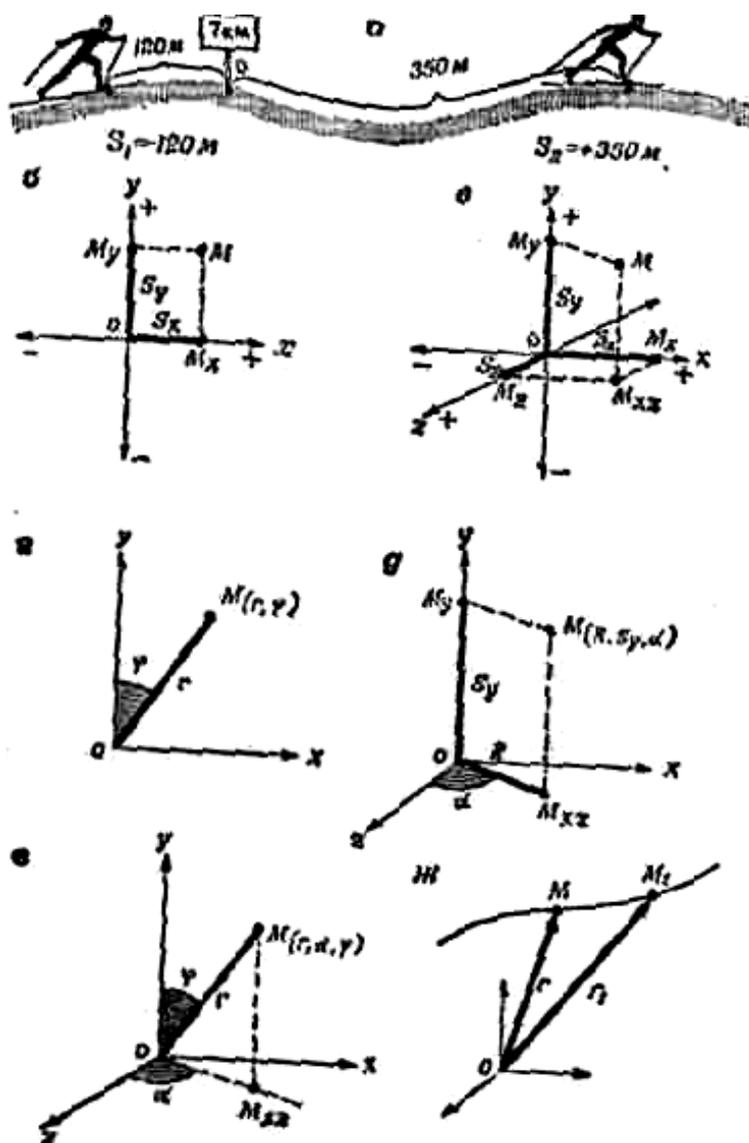


Рис. 24. Способы отсчета движения точки: а – естественный способ; б, в, г, д, е – координатный способ: и – на плоскости, в – в пространстве, г – полярные, д – цилиндрические, е – сферические; ж – векторный способ

Расстояние от начала координат до проекции точки на все три оси (M_x , M_y , M_z) – это три линейные координаты: **абсцисса, ордината и аппликата**, полностью определяющие положение точки в пространстве.

Можно пользоваться также и угловыми координатами: на плоскости – в системе полярных координат (см. рис. 24, *з*), а в пространстве – в системах цилиндрических (см. рис. 24, *д*) и сферических координат (см. рис. 24, *е*).

Векторный способ сводится к установлению расстояния точки от начала отсчета, а также направления радиуса-вектора (рис. 24, *ж*).

Единицы отсчета расстояния

В зависимости от выбранного способа отсчета устанавливаются единицы отсчета расстояния – линейные и угловые.

Линейные единицы. Чаще всего используют **метрические** единицы: основная – метр, кратная ей – километр (1000 м), и дольные – сантиметр (0,01 м) и миллиметр (0,001 м).

Кроме этой удобной для вычислений системы с десятичной зависимостью между меньшими и большими единицами пока все еще сохраняется в некоторых странах (встречается, в частности, и в спорте) очень неудобная для расчетов система:

1 дюйм = 2,54 см; 1 фут = 30,48 см; 1 ярд = 91,44 см;

1 ярд = 3 фута = 36 дюймов;

1 м = 1,094 ярда = 3,28 фута = 39,4 дюйма.

Угловые единицы. В биомеханике применяются:

- а) **градусы, минуты, секунды** – при непосредственном измерении углов (окружность = 360° ; градус = $60'$; минута = $60''$);
- б) **обороты** – при приближенном определении поворотов (оборот = 360° , пол-оборота = 180° , четверть оборота = 90° и т. д.);
- в) **радиан** – для расчетов по формулам – угол между двумя радиусами круга, вырезающими на окружности дугу, по длине равную радиусу (радиан = $57^\circ 17'44,8''$; $1^\circ = 0,01745$ рад.).

Начало и единицы отсчета времени

Кроме протяженности движения (в пространстве) необходимо измерять его **длительность** (во времени). В обычных условиях жизни в сутках приняты два начала отсчета времени (полночь и полдень), на транспорте и в технике связи – одно (астрономическое – полночь). В спортивных соревнованиях, естественно, существует одно общее начало отсчета – это либо астрономическое время, либо судейское («секундомеры на ноль»). В биомеханике в качестве начала отсчета времени выбирается момент начала изучаемого движения.

Единица отсчета времени – секунда (составляет $1/60$ минуты, или $1/3600$ часа). В современном спорте учитываются еще десятые и сотые доли секунды, а в биомеханических исследованиях также и тысячные.

Течение времени, естественно, рассматривается от прошлого к будущему, но при анализе движений иногда целесообразно вести отсчет также и в обратную сторону.

Пространственные характеристики

Пространственные характеристики в целом определяют пространственную форму движений человека.

Координаты точки, тела и системы

Координата – это пространственная мера местоположения точки относительно системы отсчета. Местоположение точки обычно определяют по ее линейным координатам (рис. 25).

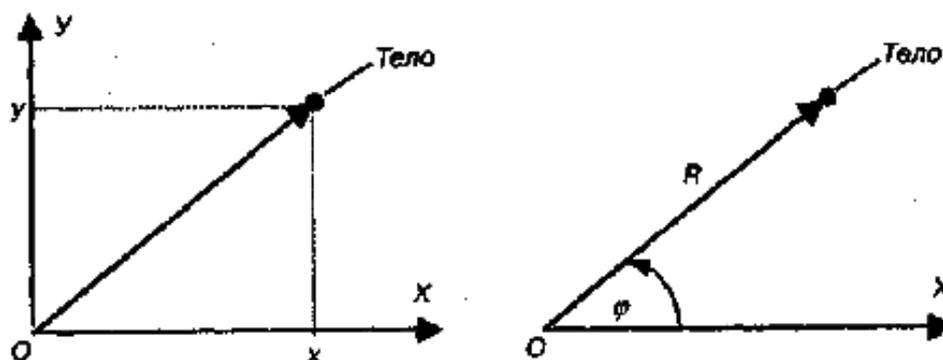


Рис. 25. Угловые и векторные координаты

Координаты показывают, где находится изучаемая *точка* (например, пункт отсчета на теле) относительно начала отсчета, на каком расстоянии и в каком направлении от него. Для определения положения одной точки на линии необходимо и достаточно одной координаты, положения одной точки на поверхности – двух, в пространстве – трех.

Но, чтобы определить положение какого-либо твердого *тела* в пространстве, этого недостаточно. Надо еще знать координаты углового положения тела (угловые координаты), определяющие его **ориентацию** относительно этих трех осей.

Еще сложнее определение положения многозвенной биомеханической *системы* (тела человека), изменяющей свою конфигурацию. Здесь уже нужно знать положение каждого звена в пространстве. Часто определяют положение тела по положениям проекций осей суставов на его поверхности (пунктов отсчета).

Различают **исходное и конечное положения**, т. е. положение, из которого движение начинается, и положение, которым оно заканчивается. От исходного положения (например, стартового) часто зависят мно-

гие особенности последующего движения. Конечное положение, к которому надо прийти, также может сильно влиять на выполнение движения (приземление после соскока со снаряда в гимнастике, после прыжка в длину в легкой атлетике, после выпуска снаряда в метаниях). Иногда исходное положение не очень существенно (перед началом разбега при прыжке в высоту); в некоторых случаях и конечное почти безразлично (после передачи мяча в футболе).

Все движения можно представить себе как сплошной ряд **мгновенных** (непрерывно сменяющихся) **промежуточных положений**. Так выглядит движение на кадрах киноплёнки. По этим положениям можно приблизительно восстановить внешнюю картину выполнения движения. **С позиции механики описать движение точки – значит определить ее положение в любой момент времени.**

Перемещение точки, тела и системы

Перемещение точки – это пространственная мера изменения местоположения точки в данной системе отсчета. Перемещение (линейное) измеряется разностью координат в моменты начала и окончания движения в одной и той же системе отсчета расстояний.

Линейное *перемещение точки* показывает, на каком расстоянии в результате движения оказалась точка относительно начального (исходного) положения. Перемещение – величина векторная. Она характеризуется численным значением (модулем) и направлением, т. е. определяет размах и направление движения. Если после движения точка вернулась в исходное положение, перемещение равно нулю. Таким образом, **перемещение есть не само движение, а лишь его окончательный результат – расстояние по прямой и направление от исходного до конечного положения.**

Перемещение тела измеряется различно в случаях поступательного и вращательного движений.

При **поступательном движении** любая прямая, соединяющая какие-либо две точки тела, все время остается параллельной самой себе, при этом **все точки тела движутся одинаково, скорости их равны**. Следовательно, перемещение тела при поступательном движении можно определить по перемещению любой его точки. Для этого **из каждой координаты конечного положения точки надо вычесть соответствующую координату начального положения.**

При **вращательном движении** какие-либо две точки, неизменно связанные с ним (внутри или вне тела), остаются во время всего движения неподвижными, при этом **все точки тела, кроме неподвижных, движутся по дугам окружностей, центры которых лежат на одной непо-**

движной линии – оси вращения, линейные скорости точек тела пропорциональны их расстояниям от оси. Следовательно, перемещение тела при вращательном движении можно измерить **углом поворота** – разностью угловых координат в одной и той же системе отсчета расстояний:

Любое движение тела в пространстве можно представить как геометрическую сумму поступательного и вращательного (вокруг *центра тяжести*) движений.

Намного сложнее определить перемещение **биомеханической системы**, изменяющей свою конфигурацию. В самых упрощенных случаях движение биомеханической системы рассматривают как движение одной **материальной точки** – **обычно его общего центра тяжести (ОЦТ)**. Тогда можно проследить за перемещением всего тела человека в целом, оценить в известной мере общий результат его двигательной деятельности. Но остается неизвестным, в результате каких именно движений достигнуто перемещение ОЦТ. Иногда перемещение тела представляют в виде передвижения условно связанной с ним линии (линия отсчета). Достоинства и недостатки этого способа в основном те же, что и в предыдущем.

Изучение у человека движений звеньев позволяет более подробно рассмотреть перемещение его тела. В некоторых случаях подвижные части (например, все кости стопы, кисти, предплечья, даже туловища) рассматриваются как одно звено. Здесь уже можно в общих чертах уловить особенности движений, хотя взаимное движение многих звеньев не учитывается и их деформациями пренебрегают. Однако получить полную картину перемещений всех существенных элементов тела (включая и внутренние органы, и жидкие ткани) при существующих методах исследования пока еще невозможно. Всегда приходится прибегать к более или менее значительному упрощению, которое неизбежно вообще в любом научном исследовании.

Передвижения отдельных точек тела человека рассматриваются в трехмерном пространстве – определяются их линейные перемещения относительно начала отсчета.

В большей части случаев движения звеньев в суставах рассматривают как вращательные и определяют угловые перемещения звеньев относительно смежных с ними.

Траектория точки

Траектория точки – это пространственная мера движения (воображаемый след движения точки). Измеряют длину и кривизну траектории и определяют ее ориентацию в пространстве.

Движущаяся точка занимает ряд непрерывно сменяющихся промежуточных положений; ее движение образует непрерывную линию – траекторию. При движении точки ее координаты изменяются. Они становятся больше или меньше, могут менять знак на обратный.

Изменение координат точки определяет направление и величину перемещения.

При **постоянном направлении** движения траектория по форме представляет прямую линию (прямолинейное движение); при **переменном направлении** – кривую (криволинейное движение).

Длину траектории (расстояние вдоль нее) характеризует **путь точки**. При прямолинейном движении для определенного участка траектории измеряют его длину.

При криволинейном движении вектор перемещения – хорда участка криволинейной траектории – не совпадает с траекторией. Малое перемещение, при котором можно с необходимой степенью точности заменить малый участок траектории ее хордой, условимся называть элементарным перемещением (ds).

При криволинейном движении **путь точки равен арифметической сумме модулей ее элементарных перемещений; перемещение же точки равно геометрической сумме ее элементарных перемещений.**

Форму криволинейного движения характеризует **кривизна траектории** (k). Это величина, обратная радиусу кривизны траектории (R), т. е. радиусу такой элементарной дуги окружности, которой допустимо заменять соответствующий элементарный участок траектории: $k = 1 / R$.

Следовательно, чем больше радиус такой дуги, тем меньше кривизна траектории.

Для траектории любой формы определяют также ее ориентацию в пространстве: для прямой траектории – по координатам точек начального и конечного положений, для кривой – по координатам этих двух точек траектории и третьей точки, не лежащей с ними на одной прямой.

При поступательном движении тела у всех его точек траектории одинаковые. По траектории одной точки (например, ОЦТ) можно изучить движение тела. При вращательном движении тела у каждой его точки свой след в пространстве, хотя у точек с одинаковым радиусом траектории по форме одинаковы. Здесь движение всего тела (только когда оно простое вращательное) также можно изучить, определив по траектории одной точки угол поворота тела.

При движении же *биомеханической системы* надо определить траектории точек ее звеньев, а также траекторию ее ОЦТ.

Траектории точек каждого звена относительно оси сустава можно приближенно считать дугами окружностей. Однако относительно осей

соседних суставов или системы прямоугольных координат, связанной, например, с Землей, траектории точек имеют сложные и разнообразные формы. Лишь иногда движения точек плоские. Почти всегда пространственные (трехмерные) траектории кривые. Они, как правило, исключительно сложны для составления уравнений, описывающих закон движения.

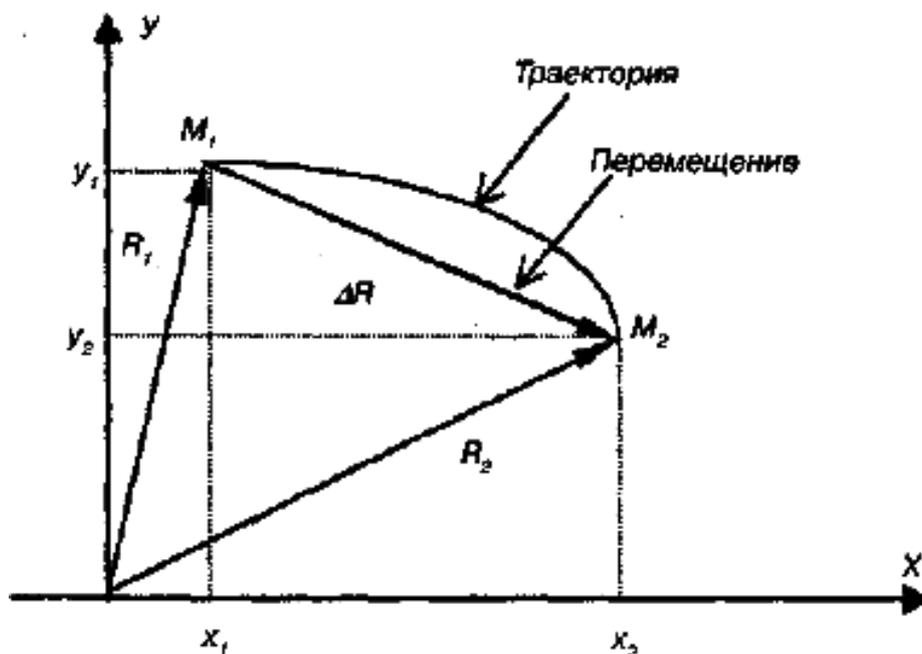


Рис. 26. Траектория и перемещение тела



Рис. 27. Траектория точки при вращательном движении (колесо) – окружность относительно колеса и циклоида – относительно земли

Таким образом, все пространственные характеристики – координаты, перемещения и траектории – в совокупности определяют начало и окончание движения и его форму в пространстве.

Временные характеристики

Временные характеристики совместно с пространственно-временными определяют характер движений человека.

Момент времени

Момент времени (или мгновение) – это временная мера положения точки, тела и системы в начале, в ходе движения и в конце. Момент времени определяется промежутком времени до него от начала отсчета (положение на оси времени)

Определяя, где была точка в пространстве, необходимо выяснить, когда она там была.

Момент времени нужно определять не только для начала и окончания движения, но и для других важных мгновенных положений. В первую очередь это моменты существенного изменения движения: заканчивается одна часть (фаза) движения и начинается следующая (например, отрыв от опоры – это момент окончания фазы отталкивания и начала фазы взлета).

Длительность движения

Длительность движения – это его временная мера. Она измеряется разностью моментов времени окончания и начала движения в неизменной системе отсчета.

Отвечая на вопрос: «Какое расстояние в пространстве пройдено в движении?», необходимо выяснить и другой: «Сколько времени затрачено на это?». Из значения момента времени окончания движения вычитается значение момента времени его начала. Полученная величина характеризует длительность движения (длительность одной/ряда фаз движения или период движения, например период полета). Момент времени не имеет длительности. Он служит границей двух смежных промежутков времени.

Естественно, что для определения длительности движения надо пользоваться одними и теми же началом отсчета времени и единицами отсчета.

При движении могут быть и остановки (паузы, перерывы в движении). Следует также измерять их длительность.

Темп движений

Темп движений – это временная мера повторности движений. Он измеряется количеством движений, повторяющихся в единицу времени.

При многократном повторении движений их длительность может быть одинаковой. В этих случаях понятием «темп» характеризуется протекание движения во времени.

Темп – величина, обратная длительности движений: эти понятия связаны обратно пропорциональной зависимостью. В практических условиях темп проще определять, чем длительность. Темпы движений удобнее сравнивать, если брать более крупные единицы времени. Например, при длительности шагов лыжника-гонщика в 0,55 с и 0,51 с частота шагов будет 18,0 и 19,5 в 10 с, или, что иногда удобнее для подсчета и сравнения, 108 и 117 шагов в одну минуту.

Темп движений может служить в отдельных случаях показателем совершенства владения техникой. У квалифицированных спортсменов (пловцов, гребцов, бегунов и др.) он выше, чем у неквалифицированных, следовательно отдельные движения у первых чаще. На темпе движений может отражаться утомление: в одних видах движений он повышается (учащение шагов при их укорочении в беге), в других – понижается (неспособность поддерживать заданный темп, например, в гребле).

Ритм движений

Ритм движений – это временная мера соотношения частей движений. Он определяется по соотношению промежутков времени, затраченного на соответствующие части движения.

Ритм определяют как соотношение двух периодов времени (например, опоры и полета в беге) или длительности двух фаз периода (например, фазы амортизации и фазы отталкивания в опорном периоде). Можно говорить и о ритме ряда фаз (например, соотношение длительностей пяти фаз скользящего шага в лыжном ходе).

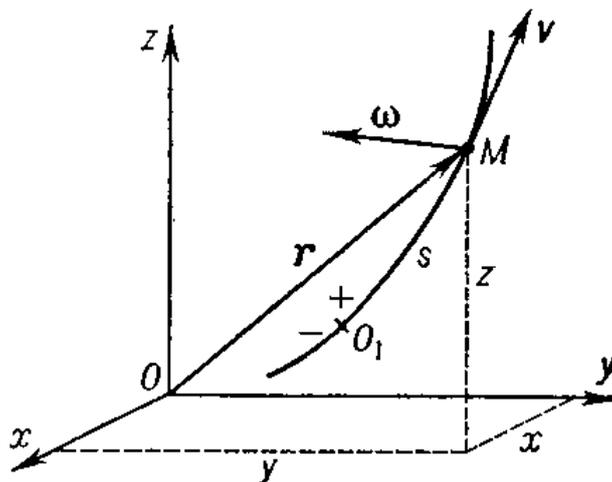


Рис. 28. Пространственно-временные характеристики движения

Фазы, ритм которых изучается, могут различаться по направлению, скорости и ускорению движений, по величине и направлению усилий и по другим характеристикам. Соотношение длительностей фаз отражает

соотношение обуславливающих их усилий. Однако для определения ритма движений необходимо измерение именно времени, а не усилий. Ритм бывает постоянным и переменным. Он может быть и в повторяющихся (циклических), и в однократных (ациклических) движениях.

С точки зрения биомеханики в каждом движении есть ритм, поскольку имеются различающиеся части движений определенной длительности. То, что в практике называется неритмичным движением, в биомеханике следует расценивать как ритм нерационального движения или несоблюдение заданного ритма.

Пространственно-временные характеристики

Пространственно-временные характеристики определяют изменение положения и движения человека во времени.

Скорость точки и тела

Скорость точки – это пространственно-временная мера движения. Она определяет быстроту изменения положения точки в пространстве с изменением времени. Скорость измеряется отношением вектора элементарного перемещения (в данной системе отсчета) к соответствующему промежутку времени: $V_{cp} = \Delta s / \Delta t$.

Таким образом, скорость характеризует и быстроту, и направление движения.

Если для расчета скорости берется все время движения и соответствующее суммарное перемещение (путь), то получается средняя скорость на данном участке пути. Такова же скорость в любое мгновение в любой точке траектории при постоянном (равномерном и прямолинейном) движении. Но у человека, как правило, движение точек тела переменное (неравномерное и криволинейное), поэтому модуль и направление скорости во время движения изменяются. В таком случае движение на протяжении его выполнения более точно характеризуется **мгновенными скоростями**.

Мгновенная скорость точки – это мера быстроты изменения положения точки в данный момент времени. Она измеряется пределом отношения вектора перемещения к соответствующему промежутку времени (в данной системе отсчета), когда этот промежуток стремится к нулю.

Скорость точки (линейная) как вектор совпадает по направлению с вектором перемещения. Это наглядно видно в прямолинейном движении. В криволинейном движении вектор мгновенной скорости как предел элементарного перемещения (величина – хорда, направление – секущая) совпадает с касательной в данной точке траектории и направлен в сторону движения.

Как положение тела определяется по положению его точек, так и *скорость тела* определяется по скоростям его точек. **При поступательном движении скорости всех точек тела (линейные) одинаковы. При вращательном же чем дальше точка от оси вращения (больше радиус), тем больше ее линейная скорость.** Отношение линейных скоростей всех вращающихся точек твердого тела к их радиусам одинаково. Эта величина – **угловая скорость (ω)** – характеризует быстроту вращательного движения тела: $\omega = v / r$.

Отсюда линейная скорость точки вращающегося тела равна произведению угловой скорости и радиуса вращения: $v = \omega r$.

Угловая скорость тела (мгновенная) – это пространственно-временная мера быстроты изменения положения тела во вращательном движении. Она измеряется пределом отношения углового перемещения тела (угла поворота) к соответствующему промежутку времени (в данной системе отсчета), когда этот промежуток стремится к нулю.

Таким образом, **угловая скорость тела** может быть измерена по его угловому перемещению, а также по линейному перемещению какой-либо его точки и по ее радиусу вращения (радиус траектории в данный момент). Сложное движение твердого тела можно определить по линейной скорости ОЦТ и угловой скорости вращения тела вокруг оси, проходящей через его ОЦТ.

Угловая скорость недеформирующейся системы тел определяется и измеряется так же, как у твердого тела. Но человек, меняя позу, представляет собою *биомеханическую систему*, изменяющую свою конфигурацию. В этих условиях определение скоростей вращательных движений и их измерение очень затруднено.

Вследствие вращательного характера движений звеньев в суставах направление скоростей точек всегда переменное. Благодаря тяге мышц синергистов и антагонистов под действием множества других сил модули линейных скоростей точек и угловых скоростей звеньев почти не бывают постоянными.

Таким образом, скорости звеньев все время изменяются как по направлению, так и (почти всегда) по модулю.

Ускорение точки и тела

Ускорение точки – это пространственно-временная мера изменения движения. Она характеризует быстроту и направление изменения вектора скорости точки в данный момент времени. Ускорение измеряется пределом отношения изменения скорости к соответствующему про-

межутку времени (в данной системе отсчета), когда этот промежуток стремится к нулю: $a = \lim \Delta v / \Delta t$.

Скорость точки как вектор может изменяться **по модулю, по направлению** или **одновременно и по модулю, и по направлению**. Соответственно различают **ускорения точки**:

- а) **положительное**, имеющее одинаковое направление со скоростью, – скорость возрастает;
- б) **отрицательное**, имеющее направление, противоположное направлению скорости, – скорость убывает;
- в) **нормальное** – направление его перпендикулярно направлению скорости и вектор скорости изменяет только направление, сохраняя свою величину (криволинейное движение).

При поступательном движении **линейное ускорение тела** равно линейному ускорению любой его точки.

При вращательном движении положительное и отрицательное ускорения, направленные по касательной, называются **тангенциальными**, а направленные по радиусу (нормали) – **радиальными, или нормальными**. Каждое из этих ускорений может проявляться независимо. Сочетание тангенциального ускорения с нормальным бывает при одновременном изменении скорости и по модулю, и по направлению. Векторная сумма нормального и тангенциального ускорений определяет **полное ускорение**.

При вращательном движении **угловое ускорение тела** характеризует изменение скорости вращения.

Угловое ускорение – это мера изменения скорости вращательного движения тела в данный момент времени. Угловое ускорение определяется как предел отношения изменения угловой скорости к соответствующему промежутку времени в данной системе отсчёта, когда этот промежуток стремится к нулю.

Среднее ускорение за время всего движения, особенно в тех случаях, когда оно меняет знак, обычно не определяется, поскольку оно не характеризует подробности (детали) движения.

Угловое ускорение может быть либо **положительным** (убыстрение вращения), либо **отрицательным** (замедление вращения). Для вращающегося твердого тела отношения линейных ускорений точек к их радиусам вращения (расстояниям до оси) одинаковы; они равны угловому ускорению тела: $a / r = \varepsilon$.

Линейное ускорение точки вращающегося тела равно произведению углового ускорения и радиуса вращения: $a = \varepsilon r$ (в радианном измерении).

В сложном движении тела (одновременно поступательном и вращательном) изменения скорости измеряют линейным ускорением ОЦТ и угловым ускорением тела относительно его ОЦТ.

Определение *угловых ускорений биомеханической системы* еще более затруднено, чем определение угловых скоростей.

Таким образом, ускорение характеризует непостоянство скорости.

Скорости точек звеньев тела человека изменяются по модулю и направлению. Значит, всегда есть нормальные ускорения и почти всегда – тангенциальные (положительные и отрицательные). **Движений тела человека без ускорений не бывает**, но ускорения иногда могут оказаться настолько малыми, что практически не будут иметь значения.

Кинематические особенности движений человека

Кинематические особенности движений человека как биомеханической системы намного сложнее, чем особенности движений твердого тела. Это зависит как от механических причин, так и от биологических факторов – активности мышц.

Составное движение и его составляющие

В биомеханике удобно условно различать:

- а) *составное движение как результат движения нескольких связанных друг с другом тел;*
- б) *сложное движение одного тела (одновременно поступательное и вращательное).*

Выше говорилось о том, что *сложное движение* твердого тела в пространстве можно представить себе как результат **сложения двух простых движений**: поступательного и вращательного. В этом случае складываются два движения одного тела.

Но тело человека – изменяемая система, поэтому в его двигательной деятельности имеет место еще и **сложение движений различных звеньев**. Например, при толкании ядра движение кисти легкоатлета относительно Земли есть результат сложения множества движений звеньев ноги, туловища и руки, т. е. *составное движение*.

Сложение скоростей и ускорений в составном движении

Результирующая угловая скорость двух вращательных движений (переносного и относительного) вокруг параллельных осей равна их сумме, если вращения направлены в одну сторону, и разности – если направления противоположны.

Иначе говоря, здесь имеет место алгебраическое суммирование. Результирующая угловая скорость увеличивается, когда составляющие ее угловые скорости направлены в одну сторону. Движение же в каком-либо сочленении в противоположную сторону уменьшает скорость конечного звена (и линейную, и угловую).

Результирующее ускорение такого составного движения, в котором переносное движение является вращательным, равно сумме трех ускорений: переносного, относительного и поворотного.

Сложение скоростей и ускорений происходит намного сложнее, если переносное движение вращательное, а относительное – поступательное.

Уточним направление поворотного ускорения. При отдалении тела по радиусу от оси переносного вращения поворотное ускорение направлено в сторону вращения, при приближении тела к оси вращения оно направлено в сторону, противоположную вращению.

Иначе говоря, **при приближении тела к оси вращения поворотное ускорение отрицательное, при отдалении тела от оси вращения – положительное (по отношению к скорости вращения).**

Изменение скоростей в движениях человека

Изменениями направления и сложением скоростей движений звеньев обуславливаются возвратно-вращательный, а иногда и возвратно-поступательный, а также круговой характер движений звеньев тела человека.

При движениях звеньев в суставах движение каждого звена можно приближенно рассматривать как вращательное. Следовательно, траектории точек звеньев будут криволинейными и скорости будут изменять свое направление. Благодаря сложению движений звеньев в составное движение траектории рабочих точек могут иметь очень разнообразную пространственную форму. Также весьма разнообразными могут быть изменения результирующих скоростей рабочих точек.

Ни в одном сочленении человека и животных невозможно полное вращательное движение. Во всех одно- и двуосных суставах возможны движения вокруг осей в пределах обычно около половины окружности. Вследствие этого движения в суставах имеют **возвратно-вращательный характер** (со сменой направления на обратное). В большинстве случаев это движения **колебательного** типа.

В результате пары вращений с одинаковыми по величине, но противоположными по направлению угловыми скоростями (например, разгибание в локтевом и сгибание в плечевом суставах) возникает поступательное движение звена или нескольких звеньев (например, движение предплечья и кисти вперед). Но такое движение также ограничено связя-

ми в суставах и потому носит **возвратно-поступательный характер** (со сменой направления на обратное). Надо подчеркнуть, что поступательным движением является относительно всего тела, а в соответствующих суставах – это по-прежнему **возвратно-вращательное движение**.

В шаровидных суставах (плечевом, тазобедренном) возможно **круговое движение (циркумдукция)** без возвратного движения. В механике это движение рассматривается как ряд последовательных элементарных поворотов вокруг мгновенных осей вращения, проходящих через сустав. Мгновенная ось все время изменяет свое направление; мгновенные угловые скорости и ускорения также все время изменяются. Таким образом, круговое движение – это сложное движение, состоящее из двух вращений.

Из бесчисленного множества возможных траекторий в процессе эволюции и разумного отбора закрепились в практике лишь очень немногие из возможных сочетаний. Это движения, наиболее рациональные как в отношении достижения цели, так и по экономичности использования возможностей. В спортивных движениях отбираются и закрепляются самые эффективные. Поэтому здесь траектории рабочих точек и определяющие их скорости движений имеют более строго установленный характер, чем, например, в бытовых движениях.

Контрольные вопросы

1. Системы отсчета расстояния и времени.
2. Начало и направление отсчета расстояния.
3. Единицы отсчета расстояния.
4. Начало и единицы отсчета времени.
5. Координаты точки, тела и системы.
6. Перемещение точки, тела и системы.
7. Траектория точки.
8. Длительность движения.
9. Темп движений.
10. Ритм движений.
11. Скорость точки и тела.
12. Ускорение точки и тела.
13. Составное движение и его составляющие.
14. Сложение скоростей и ускорений в составном движении.
15. Изменение скоростей в движениях человека.

ГЛАВА 6. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА

- *Инерционные характеристики.*
- *Силовые характеристики.*
- *Внешние относительно системы силы.*
- *Внутренние относительно системы силы.*
- *Динамические особенности в движениях человека.*

Инерционные характеристики

Понятие об инертности

Инертность (или инерция) – свойство физических тел, проявляющееся в сохранении движения, а также изменении его под действием сил.

Физическое тело, взаимодействуя с другими телами, может изменить свое движение. Если же никакого взаимодействия с другими телами нет, то нет приложенных к телу сил и движение его не изменяется (в инерциальной системе отсчета).

Сохранять «состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения» (первый закон Ньютона) – это значит сохранять неизменной по величине и направлению скорость (в частном случае равную нулю – состояние покоя) (рис. 29).

Ускорение (как мера изменения скорости) возникает только при действии других тел, когда приложены силы. В природе невозможно движение вне воздействия других тел, поэтому способность сохранять движение проявляется как способность к его изменению (ускорению) под действием силы, причем постепенному и различному для разных тел.

Например, снаряд, выпущенный метателем, продолжает «по инерции» полет – его движение сохраняется. Но в результате сопротивления воздуха и притяжения Земли движение изменяется – снаряд падает, а не улетает равномерно и прямолинейно в мировое пространство.

Инертность характеризует определенные черты поведения тел, показывает, как сохраняется движение, как оно изменяется под действием сил – быстрее или медленнее.

Закон инерции, открытый еще Галилеем и сформулированный Ньютоном, описывает свойство материальной точки и тел, движущихся поступательно. Он по своей сути применим и для тел, движущихся вращательно. Биомеханические системы также подчиняются этому закону.

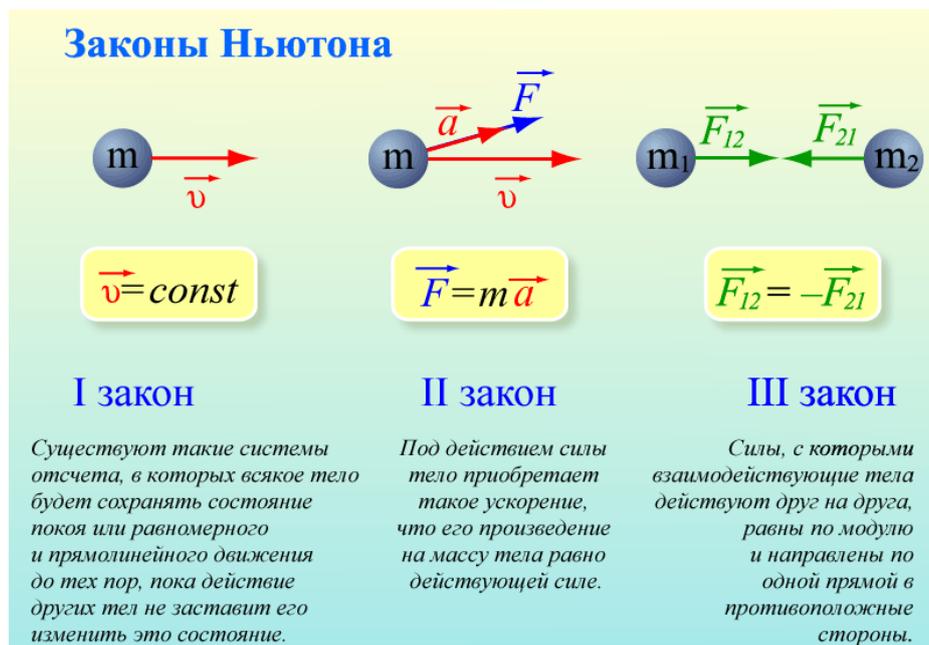


Рис. 29. Законы Ньютона

Масса тела

Масса – это мера инертности тела при поступательном движении. Она измеряется при движении материальной точки и поступательном движении тела или системы тел отношением величины приложенной силы к величине вызываемого ею ускорения:

$$m = F / a.$$

Измерение массы в этом случае основывается на втором законе Ньютона (сила, действующая на тело, равна произведению массы тела на создаваемое этой силой ускорение, причем направления силы и ускорения совпадают). Масса здесь – коэффициент пропорциональности между силой и ускорением.

Если к одному и тому же телу приложены разные силы, то изменения его движения будут различными. Отношение же силы к вызываемому ею ускорению в каждом случае постоянно – оно равно его массе.

Для решения ряда задач мало знать, какова величина массы тела, надо учитывать, как распределены в теле материальные частицы, обладающие массами. Это отчасти характеризуется положением **центра масс**, или **центра тяжести**.

Момент инерции тела

Момент инерции – это мера инертности тела относительно оси при вращательном движении (реальном или воображаемом) вокруг этой оси. Момент инерции количественно равен сумме моментов инер-

ции частиц тела – произведений масс частиц на квадраты их расстояний от оси вращения:

$$J = \sum mr^2.$$

Когда частицы тела находятся дальше от оси вращения, то угловое **ускорение тела** под действием того же момента силы **меньше**; если частицы **ближе к оси, то угловое ускорение больше**. Значит, если приблизить тело (все в целом или его части) к оси, то легче вызвать угловое ускорение, разогнать тело во вращении и остановить его. **Этим пользуются при движении вокруг оси.**

Найдя опытным путем момент инерции тела, можно рассчитать радиус инерции, на величине которого отражается распределение частиц в теле относительно данной оси.

Радиус инерции – это сравнительная мера инертности данного тела относительно его разных осей. Он измеряется корнем квадратным из отношения момента инерции относительно данной оси к массе тела:

$$R = \sqrt{J / m}.$$

Количественное определение моментов инерции в биомеханике не всегда достаточно точно. Но для понимания физических основ движений человека учитывать эту характеристику необходимо.

Силовые характеристики

Сила

Сила – это мера механического воздействия одного тела на другое. Численно она определяется произведением массы тела на его ускорение, вызванное приложением этой силы: $F=ma$.

Таким образом, измерение силы, как и измерение массы, основано на втором законе Ньютона. Поскольку этот закон раскрывает зависимости в поступательном движении, то и сила как вектор определяется только в случае такого простейшего вида движения по массе и ускорению.

Источники сил. Уже указывалось, что ускорение зависит от системы отсчета. Поэтому и сила, определяемая по ускорению, тоже зависит от системы отсчета. **В инерциальной системе отсчета источником силы для данного тела всегда служит другое материальное тело.** Коль скоро взаимодействуют два материальных объекта, то в этих условиях проявляется третий закон Ньютона: «Действию всегда существует равное противодействие, иначе говоря, действия двух тел друг на друга всегда равны и противоположны по направлению».

Если на одно тело действует другое тело, то оно изменяет движение первого. Но и первое тело в этом взаимодействии также изменяет движение другого. Обе силы приложены к разным объектам, каждая проявляет соответствующий эффект. Их нельзя заменить одной равнодействующей, поскольку они приложены к разным объектам. Именно поэтому они друг друга и не уравнивают.

В неинерциальной системе отсчета рассматривают кроме взаимодействий двух тел еще особые силы инерции («фиктивные»), для которых третий закон Ньютона не применим.

Измерение сил. Применяется **статическое** измерение силы, т. е. измерение при помощи **уравновешивающей силы** (когда ускорение равно нулю), и **динамическое** – **по ускорению, сообщаемому телу ее приложением.**

При **статическом действии** силы на данное тело (M) действуют два тела (A и B); всего имеется три материальных объекта. Силы F_A и F_B , приложенные к телу M , равны по величине и противоположны по направлению, они взаимно уравниваются. Их равнодействующая равна нулю. Ускорение, вызванное ими, также равно нулю. Скорость не изменяется (остается постоянной – равномерное движение или относительная неподвижность) (рис. 30).

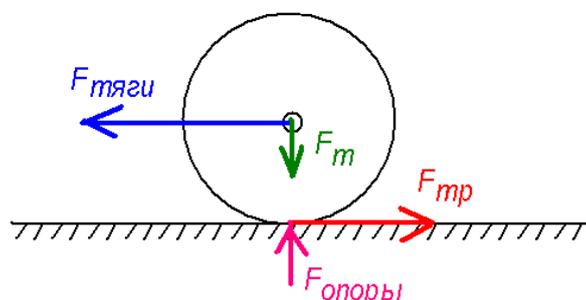


Рис. 30. Равновесие сил

Силу F_A , действующую статически, можно измерить уравновешивающей ее силой F_B .

Рассмотрим три случая проявления статического действия силы, когда все тела неподвижны:

- а) гимнаст в вися на перекладине; опорная реакция уравнивает силу тяжести тела (G);
- б) уравновешенное тело движется перпендикулярно уравновешенной силе тяжести – конькобежец скользит по льду; опорная реакция уравнивает силу тяжести тела (G); последняя прямо не влияет на скорость скольжения;
- в) уравновешенное тело по инерции движется по направлению действия уравновешенной силы; горнолыжник скользит с постоянной

скоростью по склону; силы сопротивления (воздуха и трения лыж по снегу – Q) уравновешивают скатывающую составляющую силы тяжести (G). Во всех трех случаях вне зависимости от состояния покоя или направления движения тела уравновешенная сила не изменяет движения; скорости в направлении ее действия постоянны.

Следует подчеркнуть, что во всех случаях статическое действие силы вызывает **деформацию** тела.

При **динамическом действии** силы на данное тело M действует неуравновешенная сила. В задачах по теоретической механике часто рассматривается лишь эта одна движущая сила как мера действия лишь одного движущего тела.

Движущая сила – это сила, которая совпадает с направлением движения (попутная) или образует с ним острый угол и при этом может совершать положительную работу (увеличивать энергию тела).

Однако в реальных условиях движений человека всегда существует среда (воздух или вода), действуют опора и другие внешние тела (снаряды, инвентарь, партнеры, противники и др.). Все они могут оказывать тормозящее действие. Более того, ни одного реального движения без участия **тормозящих сил** просто не бывает.

Тормозящая сила направлена противоположно направлению движения (встречная) или образует с ним тупой угол. Она может совершать отрицательную работу (уменьшать энергию тела).

Часть движущей силы, равная по величине тормозящей, уравновешивает последнюю – это **уравновешивающая сила** ($F_{ур}$).

Избыток же движущей силы над тормозящей – ускоряющая сила ($F_{уск}$) – вызывает ускорение тела с массой m согласно второму закону Ньютона ($F_y = ma$).

Следовательно, скорость не остается постоянной, а изменяется, т. е. возникает ускорение. Это и есть динамическое действие силы F .

Силу $F_{уск}$, действующую динамически, можно измерить по массе тела и его ускорению.

Классификация сил

Силы, которые изучают при анализе движений человека, в зависимости от общих признаков делятся на группы. По способу взаимодействия тел все силы делятся на **дистантные**, возникающие на расстоянии без непосредственного соприкосновения тел, и **контактные**, которые возникают лишь при соприкосновении тел.

К дистантным силам в механике относят силы всемирного тяготения, из которых в биомеханике изучаются силы земного тяготения, проявляющиеся в **силах тяжести**. Контактные силы включают **упругие силы** и **силы трения**.

По влиянию на движение различают силы **активные** (или задаваемые) и **реакции связи**. Напоминаем, что **связи – это ограничения движения объекта, осуществляемые другими телами**. Сила, с которой связь противодействует движению, и представляет собою реакцию связи. Она заранее неизвестна и зависит от действия на тело других сил и движения самого тела.

Реакции связи сами по себе не вызывают движения, они только противодействуют активным силам или уравнивают их. Если же реакции связи не уравнивают активных сил, тогда и начинается движение под действием последних.

По источнику возникновения относительно системы (например, тела человека) силы различают **внешние**, вызванные действием тел внешних относительно системы, и **внутренние**, вызванные взаимодействиями внутри системы. Это деление необходимо при определении возможностей действия тех или иных сил. Одну и ту же силу следует считать внешней или внутренней в зависимости от того, относительно какого объекта мы ее рассматриваем.

По способу приложения **силы в механике** делят на **сосредоточенные**, приложенные к телу в одной точке, и **распределенные**. Последние делят на **поверхностные** и **объемные**.

По характеру силы бывают **постоянные** и **переменные**. В качестве примера постоянной силы можно назвать силу тяжести (в данном пункте Земли). Одна и та же сила может изменяться в зависимости от нескольких условий. Практически в движении человека постоянные силы почти не встречаются. Все силы переменные. Они меняются в зависимости от времени (мышца с течением времени изменяет силу тяги), расстояния (в разных пунктах Земли даже «постоянная сила» тяжести различна), скорости (сопротивление среды зависит от относительной скорости тела и среды).

Поскольку в биомеханике особенно важно взаимодействие тела человека с внешним окружением, вызываемое движениями частей тела, далее будут подробно рассмотрены силы внешние и внутренние относительно системы (тела человека). Взаимодействие физических объектов – главная причина изменения движений. Поэтому мере взаимодействия – силе – в биомеханике уделяется особое внимание.

Момент силы

Момент силы – это мера механического воздействия, способного поворачивать тело (мера вращающего действия силы). Он численно определяется произведением модуля силы на ее плечо (расстояние от центра момента до линии действия силы).

Момент силы имеет знак плюс, если сила сообщает вращение против часовой стрелки, и минус при обратном его направлении.

Вращающая способность силы проявляется в создании, изменении или прекращении вращательного движения.

Полярный момент силы (момент силы относительно точки) может быть определен для любой силы относительно этой точки (O) (центр момента). Если расстояние от линии действия силы до избранной точки равно нулю, то и момент силы равен нулю. Следовательно, расположенная таким образом сила не обладает вращающей способностью относительно этого центра. Площадь прямоугольника (Fd) численно равна модулю момента силы.

Когда несколько моментов силы приложено к одному телу, их можно привести к одному моменту – **главному моменту**.

Для определения вектора момента силы надо знать:

- а) **модуль момента** (произведение модуля силы на ее плечо);
- б) **плоскость поворота** (проходит через линию действия силы и центр момента);
- в) **направление поворота** в этой плоскости.

Осевой момент силы (момент силы относительно оси) может быть определен для любой силы, кроме совпадающей с осью, ей параллельной или ее пересекающей. Иначе говоря, сила и ось не должны лежать в одной плоскости.

Применяют **статическое измерение** момента силы, если его уравновешивает лежащий в той же плоскости, равный ему по модулю и противоположный по направлению момент другой силы относительно того же центра момента (например, при равновесии рычага). Моменты сил тяжести звеньев относительно их проксимальных суставов называют **статическими моментами звеньев**.

Применяют **динамическое измерение** момента силы, если известны момент инерции тела относительно оси вращения и его угловое ускорение. Как и силы, моменты сил относительно центра могут быть **движущими** и **тормозящими**, а стало быть, и **уравновешивающими**, **ускоряющими** и **замедляющими**. Момент силы может быть и **отклоняющим** – отклоняет в пространстве плоскость поворота.

При всех ускорениях возникают силы инерции: при нормальных ускорениях – центробежные силы инерции, при касательных (положительных или отрицательных) – касательные силы инерции. Центробежная сила инерции направлена по радиусу вращения и не имеет момента относительно центра вращения. Касательная же сила инерции приложена для твердого звена в центре его качаний. Таким образом, имеется **момент силы инерции** относительно оси вращения.

Действие силы

Сила, приложенная к телу, если она не уравновешена, изменяет его движение.

Меры действия силы могут быть определены: а) с учетом промежутка времени ее действия – импульс силы – или б) с учетом пути ее действия – работа силы. Обе эти меры как бы взаимно дополняют друг друга, отражая действие силы во времени и в пространстве.

Импульс силы – это мера механического воздействия на тело со стороны других материальных объектов за данный промежуток времени. Он равен в поступательном движении произведению силы на время ее действия:

$$S = F\Delta t.$$

Работа силы – это мера механического воздействия на тело со стороны других материальных объектов на данном пути. Она равна в поступательном движении произведению модулей той составляющей силы, которая действует в направлении движения, и перемещения точки приложения силы:

$$A = F\Delta s.$$

В случае, если сила направлена под углом к перемещению, надо произведение модулей силы и перемещения помножить еще на косинус угла между их направлениями. Работа силы **положительная**, когда этот угол острый, и, следовательно, сила ускоряет движение. Работа силы **отрицательная**, если угол тупой и сила замедляет движение. При прямом угле косинус равен нулю и работа равна нулю: сила работы не совершает.

Соответственно различают меры изменения движения как результата действия силы:

- а) количество движения тела;
- б) кинетическую энергию тела.

Количество движения тела – это мера поступательного движения, характеризующая его способность передаваться от одного тела к другому в виде механического же движения. Она определяется при поступательном движении произведением массы тела и его скорости:

$$K = mv.$$

Изменение количества движения за промежуток времени и равняется суммарному импульсу сил, приложенных к телу на том же промежутке времени.

Можно сказать, что количество движения тела – это мера его способности двигаться в течение некоторого времени против действия тормозящей силы.

Кинетическая энергия тела – это мера механического движения, характеризующая его способность превращаться в потенциальную или другие виды энергии. Кинетическая энергия тела равна при поступательном движении половине произведения массы тела на квадрат его скорости:

$$E_k = mv^2 / 2.$$

Изменение кинетической энергии тела на некотором пути перемещения равняется работе приложенных к нему сил на этом же пути. Следовательно, совершенная работа равна приращению кинетической энергии.

Можно сказать, что кинетическая энергия тела – *это мера его способности проходить некоторый путь против действия тормозящей силы.*

Теперь посмотрим, как действуют силы и какой эффект они вызывают во **вращательном движении** (рис. 31), характерном для звеньев тела человека. Зависимости мер изменения движения от мер действия сил во вращательном движении по физической сущности такие же, как и в поступательном.

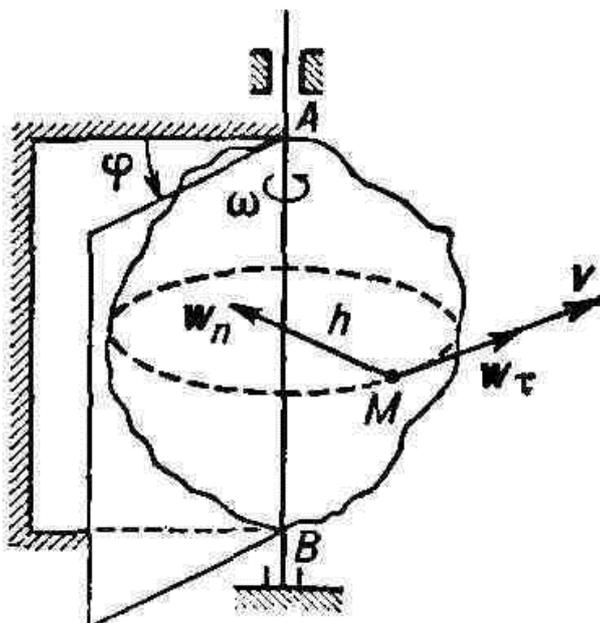


Рис. 31. Вращательное движение тела

Импульс момента силы характеризует действие силы, а вызванное им изменение движения измеряется кинетическим **моментом** (моментом количества движения).

Импульс момента силы – это мера механического воздействия на тело других объектов (во вращательном движении) за данный промежуток времени. Импульс момента равен произведению момента силы и длительности его действия:

$$S_z = M_z(F)t.$$

В случае переменного момента силы нужно суммировать элементарные импульсы моментов сил относительно некоторого центра.

Кинетический момент (момент количества движения) – это мера вращательного движения, характеризующая его способность передаваться от одного тела к другому в виде механического же движения. Кинетический момент равен произведению момента инерции относительно оси вращения и угловой скорости тела:

$$K_z = J\omega.$$

Определения работы момента силы и кинетической энергии вращательного движения аналогичны определениям соответствующих величин для поступательного движения. Только вместо массы в уравнения входит момент инерции и вместо линейных перемещения и скорости – угловые.

Если **скорость и ускорение служат кинематическими** мерами изменения движения, то **количество движения** (а также кинетический момент) и **кинетическая энергия** – **динамическими** мерами изменения движения.

Следует подчеркнуть, что, хотя в характеристиках поступательного и вращательного движений немало общего, меры их (кинематические и динамические) все (кроме временных) различны.

Внешние относительно системы силы

Для того чтобы отнести силы к внешним или внутренним, надо установить прежде всего, относительно какой системы объектов эти силы рассматриваются. В биомеханике такой системой, естественно, считают тело человека. Но иногда бывает целесообразно расширить систему (например, велосипедист – велосипед) или ограничить ее (например, тело прыгуна в воду рассматривают как две связанные системы – верхнюю и нижнюю половины по весу тела. Тяги мышц, соединяющих эти системы, можно рассматривать как внешние для них силы).

Внешние относительно системы силы – мера воздействия на нее объектов окружающей среды.

Внешние силы обладают особенностями, значение которых важно для понимания динамики. Они могут быть мысленно приложены к центру тяжести системы как изменяющие его движение, могут изменять и ее кинетический момент, что невозможно для внутренних сил. В этом главный смысл разделения сил на эти группы (внешние и внутренние силы).

В числе внешних для тела человека сил будут рассмотрены: дистантные силы (тяжести) и контактные (силы веса и инерции внешних тел, сопротивления среды, реакции опоры, трения и упругой деформации).

Сила тяжести и вес

Сила тяжести тела – это мера притяжения тела к Земле с учетом уменьшения силы притяжения вследствие суточного вращения планеты. Сила тяжести тела равна геометрической (векторной) сумме гравитационной и инерционной (центробежной) сил и приложена как равнодействующая всех сил тяжести частиц тела к его центру тяжести (рис. 32).

Все тела на планете находятся в поле земного тяготения. Тело массы m притягивается Землей массы M с силой F по линии, соединяющей их центры масс.

Сила тяготения зависит только от масс и расстояния. Для определения величины **силы тяжести** применяется статическое измерение – по действию тела на площадку пружинных весов. Под действием силы тяжести тело само оказывает давление на опору (нижнюю или верхнюю) – проявляется вес тела.

Вес тела (статический) – это мера его воздействия в покое на покоящуюся же связь (опору, подвес) как на препятствие, мешающее падению.

Рычажные весы с гирями не улавливают различия в весе, связанного с местоположением пункта взвешивания, поскольку вес гирь изменяется так же, как вес тела.

Вес тела равен его силе тяжести, но вес – сила контактная, приложенная не к телу, а к опоре тела, сила же тяжести – дистантная сила, которая приложена к самому телу (рис. 32).

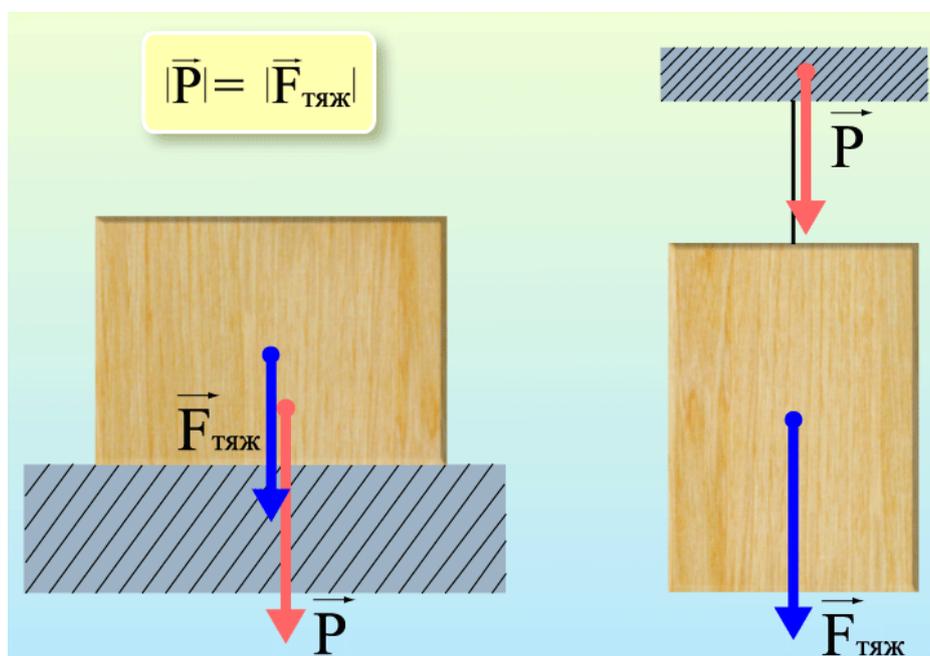


Рис. 32. Сила тяжести и вес тела

Для определения величины силы применяется также **динамическое измерение** – по ускорению свободно падающего тела (для технических расчетов принимают 981 см/с). В разных пунктах Земли это ускорение различно, но в некоторых практических задачах это различие можно не учитывать. Для приближенных расчетов (в учебных заданиях) его считают равным 9,8 или даже 10,0 м/с.

Сила тяжести тела человека и вес удерживаемых им тел вызваны земным тяготением и поэтому служат для человека внешними силами.

Поскольку вес (как и сила тяжести) изменяется от ускорения тела, различают **статический** (тело покоится) и **динамический вес**. Последний есть геометрическая сумма статического веса и силы инерции при ускорении по вертикали. Например, при приседании или отталкивании силы инерции направлены против ускорения. Они или увеличивают, или уменьшают динамический вес тела (его общую силу давления на опору).

На горизонтальной плоскости сила тяжести (G) вызывает опорную реакцию (R); обе силы взаимно уравновешены. На наклонной плоскости составляющие силы тяжести соответственно вызывают опорную реакцию R_N и силу трения T . Вне опоры сила тяжести вызывает у всех звеньев свободно падающего тела одинаковое ускорение, поэтому на взаимное расположение и относительное движение частей тела в полете она не влияет. Поскольку тело не действует на опору, то нет веса – тело находится в состоянии **невесомости**.

Итак, сила тяжести тела действует:

- а) на опору в покое – как статический вес;
- б) на опору при вертикальном ускорении – как динамический вес;
- в) вне опоры – как причина ускорения свободно падающего тела.

В положении на опоре силы тяжести либо проходят через оси суставов тела и тянут части тела вниз, либо действуют на плече силы тяжести (d) и обладают моментом относительно оси сустава (G). Так же действуют на тело человека своим весом и внешние тела, удерживаемые или приводимые в движение человеком. Стало быть, при опоре вес звеньев тела и отягощений всегда влияет на расположение и движение звеньев тела. Изменять статический вес внешних тел и своих частей тела человек не может, но **изменять моменты сил тяжести, а также динамический вес можно и иногда нужно – в зависимости от задачи движения и конкретных условий.**

Силы инерции внешних тел

Сила инерции внешнего тела в инерциальной системе отсчета (реальная сила) – это мера действия на тело человека со стороны тела, ускоряемого им. Она равна произведению массы внешнего тела на его

ускорение, направлена в сторону, противоположную ускорению, и приложена к рабочей точке тела человека (место его контакта с ускоряемым телом или опорой).

При движениях человек, изменяя скорость внешних тел, сообщает им ускорение. Как противодействие ускоряющей силе действия человека возникает внешняя сила инерции ускоряемых тел. Сила инерции внешнего тела, действующая на тело человека, – это реакция, испытываемая телом человека со стороны ускоряемого тела, которому он, и только он сообщает ускорение. При толкании штанги возникает ее ускорение от груди и рук, направленное вверх (рис. 33, а). Сила инерции штанги, приложенная к груди и рукам, обусловлена ускоряющей силой F , равна ей по величине и направлена противоположно (вниз); она складывается с весом штанги. Если атлет замедляет движение штанги, направленное вниз (опуская ее на помост), то ускорение штанги также направлено вверх. Сила же инерции штанги, как и ее вес, направлена вниз и приложена к рукам атлета (рис. 33, б).

Силы инерции как внешние силы проявляются также при замедлении человеком движения внешних тел, т. е. при их торможении. Примером проявления сил инерции может быть, в частности, действие внешних материальных объектов, в том числе жидкостей, газов – удар волны, порыв ветра.

Все это – примеры реальной (ньютоновой) силы инерции, отсчитываемой в инерциальной системе отсчета и приложенной к ускоряющему телу со стороны ускоряемого в поступательном движении.

При искривлении траектории внешнего тела силой человека во вращательном движении центробежная сила, как сила инерции вращаемого тела (равная по модулю центростремительной тяге спортсмена), направлена по радиусу от центра и приложена к рабочей точке тела человека (рис. 30, в).

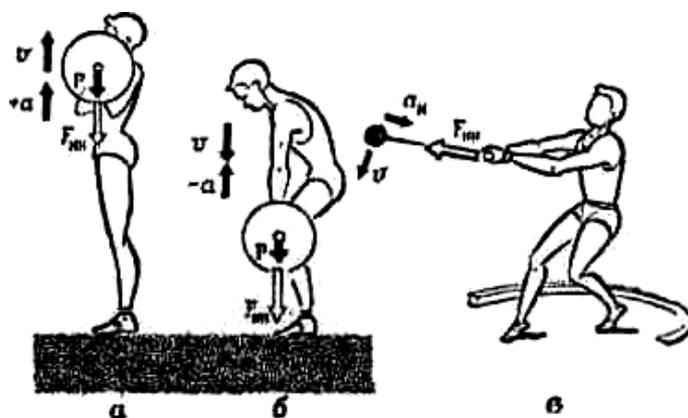


Рис. 33. Сила инерции: а, б, в – реальная при ускорениях: а – положительном, б – отрицательном, в – нормальном

Во вращательном движении **полная сила инерции тела** составляется из **тангенциальной** составляющей при угловом ускорении и **нормальной** – при центростремительном ускорении.

Силы сопротивления среды

Давление в газе или жидкости – это мера силы механического воздействия между элементами данной среды и элементами среды и другими телами. Оно равняется отношению силы к той площади, через которую осуществляется воздействие (рис. 34). Для всякой площадки в среде направление силы действия одного элемента среды на другой только нормальное (перпендикулярное площадке).

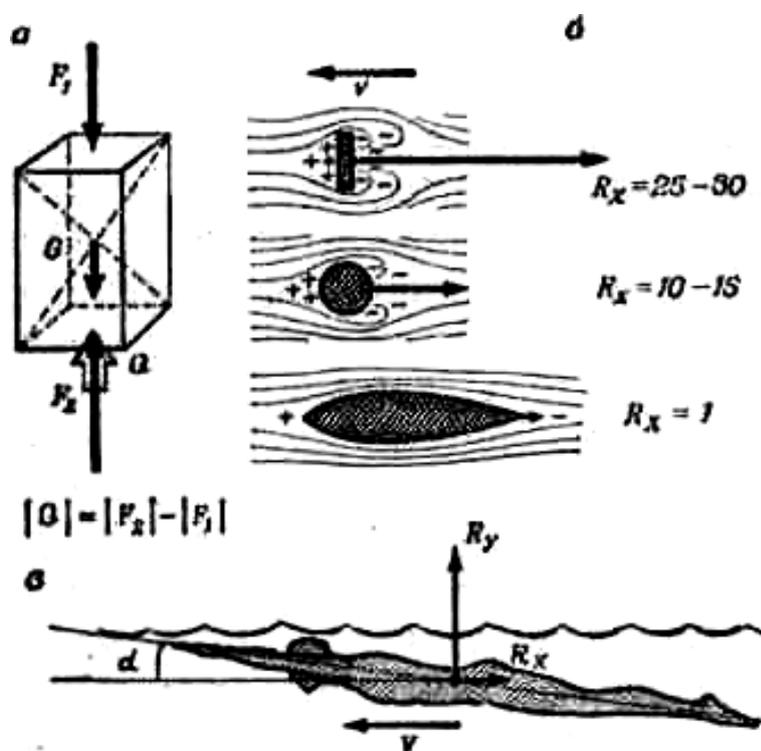


Рис. 34. Силы сопротивления среды: а – статическая (выталкивающая, Q); б, в – динамические; б – лобового сопротивления, в – подъемная (R_y)

В каждой точке среды величина давления одинакова для всех направлений, к которым это давление отнесено. Давление во всех точках среды, лежащих в одной горизонтальной плоскости, одно и то же. Давления по вертикали (в случае покоя среды) распределяются так, что разность давлений ($F_2 - F_1$) равна весу вертикального столба среды (G).

Человек всегда находится и передвигается в какой-либо среде – либо воздушной, либо водной. Он вступает в механическое взаимодействие со средой. Силы ее действия могут проявляться статически (аэро- и гидростатика), например выталкивающая сила (по закону Архимеда),

или динамически (аэро- и гидродинамика), например подъемная сила в потоке воздуха или воды.

Выталкивающая сила – это мера действия среды на погруженное в нее тело. Выталкивающая сила равна геометрической (векторной) сумме сил, действующих на все элементы поверхности тела; она всегда равна по модулю весу вытесненного объема жидкости или газа и направлена вверх.

Если тело весит больше, чем вытесненная им вода, то оно будет тонуть; при обратном соотношении будет всплывать.

Когда тело движется в среде, возникают дополнительные силы, зависящие в основном от величины его скорости относительно среды (относительной скорости), формы тела, его ориентации по направлению относительного движения и свойств среды.

Движение тела в среде (или среды относительно тела) характеризуется **линиями тока**. Это линии, в каждой точке которых скорость частиц среды касательна. Скорости касательны и к линиям тока, и к траекториям частиц. Но **линии тока** характеризуют направления скорости **разных частиц в данный момент времени**, а **траектории** – направления скорости **одних и тех же частиц в различные моменты времени**. Только при постоянном распределении скоростей линии тока и траектории частиц совпадают. Тело **полностью обтекаемо**, если линии тока расположены **одинаково** сверху и снизу тела, а также спереди и сзади. Правда, давление на тело с разных сторон различно. По закону Бернулли, где скорость потока возрастает, давление уменьшается, и наоборот. Именно этим и объясняются изменения давлений (дополнительные силы).

Но это объяснение достаточно только для идеальной среды, в которой отсутствует внутреннее трение (вязкость). Вследствие вязкости обтекание **всегда неполное**, и поэтому возникает лобовое сопротивление.

Лобовое сопротивление – это сила, с которой среда препятствует относительному движению в ней тела. Лобовое сопротивление при относительно небольших скоростях приближенно:

$$R_x = SC_x \rho v^2,$$

где S – площадь поперечного сечения (миделево сечение, или мидель), равная площади проекции тела на плоскость, перпендикулярную потоку; C_x – коэффициент лобового сопротивления, который зависит от формы тела (обтекаемости) и его ориентации относительно потока; ρ – плотность среды (воды – 1000 кг/м^3 , воздуха – $1,3 \text{ кг/м}^3$; разница в плотности этих сред – почти в 780 раз); v – относительная скорость потока и тела.

Перед телом давление повышено, так как скорость тока снижена (поджатие). Сзади тела силы трения вызывают отрыв потока от стенок тела, возникают завихрения, создается зона пониженного давления

(разрежение). Равнодействующая сил давления на тело спереди и сзади направлена назад и тормозит движение тела.

Тело с более обтекаемой формой имеет меньше завихрений сзади. Поэтому сопротивление среды может в зависимости от формы тела снизиться при прочих равных условиях в десятки раз (см. рис. 34, б).

Таким образом, **лобовое сопротивление зависит от разности давлений спереди и сзади тела в потоке (сопротивление формы) и трения между телом и пограничным слоем среды (сопротивление трения).**

Когда поверхность тела образует угол с направлением потока (угол атаки α), возникает еще подъемная сила (R , см. рис. 34, в). При этом давление снизу тела несколько больше давления в потоке, а давление сверху тела намного меньше; тело не столько подпирается снизу, сколько «подсасывается» кверху.

Подъемная сила – это сила, действующая со стороны среды на тело, расположенное под углом к потоку. Подъемная сила зависит от тех же факторов, что и лобовое давление: $R_y = SC_y \rho v^2$, где C_y – коэффициент подъемной силы.

Подъемная сила увеличивается в известных пределах с увеличением угла атаки, а потом начинает падать.

Равнодействующая лобового давления и подъемной силы (она же равнодействующая сил давления и трения) при движении в воздухе называется **полной аэродинамической силой**.

Лобовое сопротивление среды тормозит продвижение вперед, например при полете, плавании, скольжении, беге. Подъемная сила поддерживает тело, например тело прыгуна на лыжах с трамплина в полете, пловца в воде при продвижении его по дистанции.

Реакции опоры

Реакции опоры – это мера противодействия опоры при давлении на нее со стороны покоящегося или движущегося при контакте с ней тела. Реакция опоры равна по величине силе, с которой тело действует на опору, направлена в противоположную этой силе сторону и приложена к телу в той точке, через которую проходит линия силы, действующей на опору.

Нормальная (или идеальная) реакция опоры при действии веса тела на горизонтальную поверхность направлена вертикально вверх. Во всех случаях она **перпендикулярна** плоскости, касательной той поверхности, которая служит опорой в точке приложения силы.

Человек может оказывать действие на опору не только по нормали к ней, но и под **острым углом**. Тогда направление **полной реакции опоры** не совпадает с нормалью. Горизонтальная составляющая полной

реакции опоры называется *силой трения*, если поверхности, соприкасающиеся при опоре, ровные (без выступов).

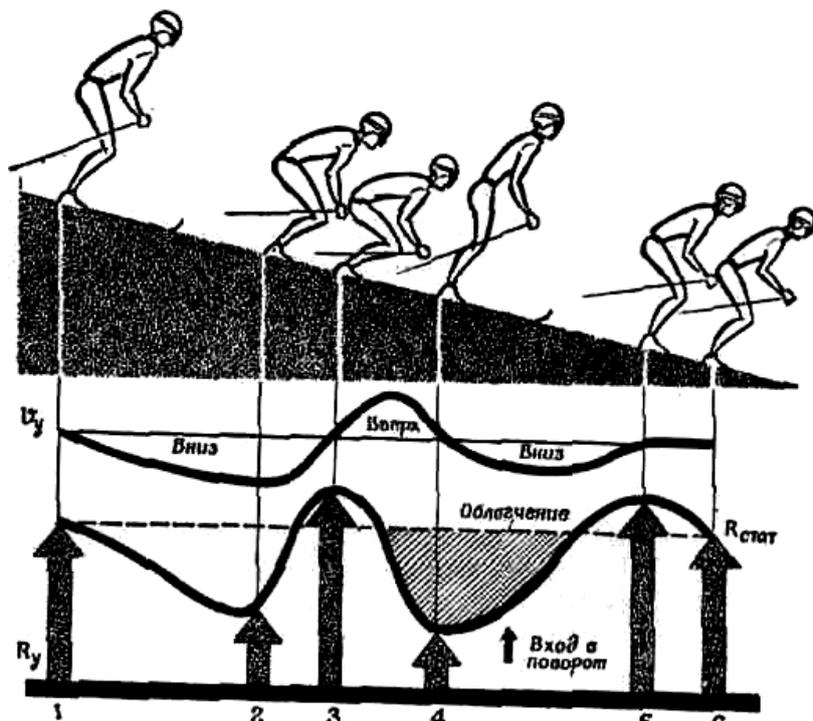


Рис. 35. Силы опорной реакции: 1, 6 – статические; 2, 4 – уменьшенные; 3, 5 – увеличенные

Человек, находящийся на опоре (нижней или верхней), действует на нее статическим весом. В этом случае **реакция опоры статическая** и равна весу тела (рис. 35). При движении с ускорением частей тела человека, опирающегося на опору, возникает сила инерции тела человека, которая геометрически суммируется с его весом. Увеличенную или уменьшенную опорную реакцию обычно называют **динамической**. Но правильнее говорить здесь о добавлении к статической еще и динамической составляющей опорной реакции, вызванной теми усилиями, которые определяют ускорение тела.

Линия действия силы опорной реакции при неподвижном положении тела на опоре или же под опорой проходит через ОЦТ тела человека. Однако при движениях человека линия действия как нормальной, так и полной опорной реакции (равнодействующая нормальной реакции и силы трения по всем направлениям) почти никогда не проходит через ОЦТ.

Для анализа действия сил на наклонной плоскости опорная реакция может быть разложена на *нормальную составляющую* (перпендикулярную плоскости) и *касательную составляющую* (параллельную плоскости). Первая противодействует нормальной составляющей силы тяжести, вторая (сила трения) – силе, вызывающей скольжение тела.

Силы трения

Сила трения – это мера противодействия движению, направленному по касательной к поверхности прикасающегося тела. Величина силы трения (как составляющей реакции поверхности связи) зависит от воздействия движущегося или смещаемого тела; она направлена против скорости или смещающей силы и приложена в месте соприкосновения.

Силы трения (касательные реакции) возникают между соприкасающимися телами во время их движения друг относительно друга (рис. 33).

Различают три вида трения: трение скольжения, качения и верчения. При скольжении движущееся тело соприкасается с неподвижным одной и той же частью своей поверхности (лыжа скользит по снегу). При качении точки движущегося тела соприкасаются с другим телом поочередно (колесо велосипеда катится по треку). Верчение характеризуется движением на месте вокруг оси (волчок).

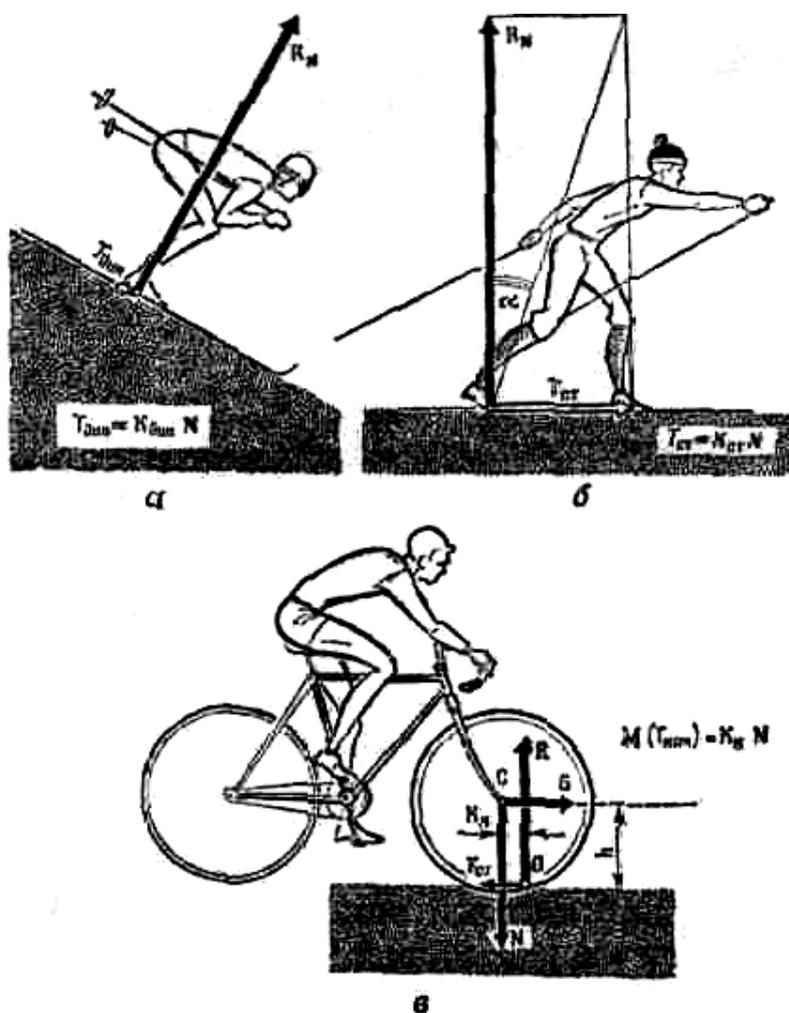


Рис. 36. Силы трения (T): а – скольжения динамическая; б – скольжения статическая; в – момент трения качения

Сила трения скольжения динамическая проявляется при движении тела, приложена к скользящему телу и направлена в сторону, противоположную относительной скорости его движения. Она не зависит от величины движущей силы и приближенно пропорциональна динамическому коэффициенту трения скольжения ($k_{\text{дин}}$) и силе нормального давления на опору (N):

$$T_{\text{дин}} = k_{\text{дин}}N.$$

Когда поверхности полностью разделены слоем смазки, то проявляется жидкостное трение. Оно существует между слоями жидкости, а также между жидкостью и твердым телом. В противоположность сухому трению (между твердыми телами без смазки), жидкостное трение проявляется только тогда, когда есть скорость. С остановкой движущихся тел жидкостное трение исчезает, поэтому даже самая малая сила может сообщить скорость слоям жидкой среды, например при движении твердого тела в воде.

Иная картина при сухом трении. Если приложить движущую силу к покоящемуся телу, то она сможет сдвинуть тело с места лишь тогда, когда станет больше силы трения покоя, препятствующей движению. Таким образом, сухое трение и жидкостное принципиально различны.

Сила трения скольжения статическая (покоя) проявляется в покое, приложена к сдвигаемому телу, направлена в сторону, противоположную сдвигающей силе. Статическая сила трения скольжения равна сдвигающей силе, но не может быть больше предельной; последняя пропорциональна статическому коэффициенту трения скольжения ($k_{\text{ст}}$) и силе нормального давления (N):

$$T_{\text{ст}} = k_{\text{ст}}N.$$

Стало быть, статическая сила трения покоя может иметь величину от нулевой до предельной (неполная и полная). Минимальная сдвигающая сила, приводящая тело в движение, больше предельной силы трения покоя.

Отношение между величиной нормальной опорной реакции (равной силе нормального давления) и предельной силой трения покоя равно тангенсу угла (a), который называется *углом трения* (или углом сцепления) (рис. 36, б).

Тангенс угла сцепления равен коэффициенту трения покоя. Фактический угол силы давления на опору в покое не может быть больше, чем угол трения. Это значит, что пока линия действия силы, приложенной к телу, проходит внутри угла трения, тело не может быть сдвинуто с места. Лишь когда линия действия силы окажется за пределами угла трения, тело будет сдвинуто.

На горизонтальной поверхности сила нормального давления обычно представлена статическим или динамическим весом (человек неподвижен или отталкивается от опоры). Но могут быть и другие источники нормального давления, например при давлении, оказываемом ногами и спиной альпиниста на стенки камина (вертикальной расщелины в скалах).

Силы упругой деформации

Сила упругой деформации – это мера действия деформированного тела на другие тела, с которыми оно соприкасается. Величина и направление упругих сил зависят от упругих свойств деформированного тела, а также от вида (сжатие, растяжение и др.) и величины деформации.



Рис. 37. Силы упругости

Все реальные твердые тела, а также жидкости и газы в той или иной степени деформируются под действием приложенных сил, при этом в них возникают силы упругой деформации (или упругие силы).

В так называемых упругих телах относительно невелик модуль Юнга. Деформации значительны, так как даже малые силы вызывают относительно большие деформации. После прекращения деформирующего воздействия упругие силы восстанавливают форму тела. К таким телам, действующим на тело человека, можно отнести батут, пружинящий трамплин, эспандер. При деформации они **поглощают работу** (увеличивается их потенциальная энергия), а затем, восстанавливая

свою форму, **совершают работу** (уменьшается потенциальная энергия). Эспандер (резиновый или пружинный) поглощает работу, совершаемую спортсменом. При использовании же батута и мостика существенна работа, которую совершают эти снаряды, восстанавливая свою форму.

Упругие взаимодействия имеют место при деформации тел, связанных с опорой под действием сил тяготения (проявление веса); при деформации опоры (опорные реакции), ускоряемых тел (силы инерции), отчасти среды (силы сопротивления среды), соприкасающихся поверхностей (силы трения).

Выделение сил упругой деформации в отдельную группу как внешних относительно человека сил целесообразно только в случаях значительных деформаций внешних упругих тел.

Внутренние относительно системы силы

При биомеханическом исследовании движений человека рассматриваются обычно внутренние относительно его тела силы. Они возникают при взаимодействии частей биомеханической системы тела.

Внутренние силы механической системы – мера взаимодействия входящих в нее тел.

Внутренние силы нельзя мысленно рассматривать как приложенные к центру тяжести системы. Они не могут сами по себе изменять движение ОЦТ системы и ее кинетический момент.

Внутренние силы осуществляют **притягивание** и **отталкивание** внутри системы, между ее частями. В абсолютно твердом теле они попарно взаимно уравниваются. В системе внутренние силы попарно не уравниваются, если приложены к разным частям системы (телам), – каждая производит свое действие.

К внутренним для тела человека силам относятся силы мышечной тяги и силы пассивного противодействия органов и тканей.

Силы мышечной тяги

Силы мышечной тяги приложены к звеньям кинематических цепей внутри тела. Мышцы в своей активности всегда объединены в группы. Силы тяги каждой мышцы изменяются. Поэтому изменяются и тяги отдельной группы мышц, и тяги взаимодействующих групп мышц. Мышцы могут по ходу движения включаться в работу, выключаться из нее, а также, изменяя функцию, переходить из одной группы в другую. Совместное действие мышц обеспечивает сохранение и направленное изменение взаимного расположения звеньев.

Работа мышц – основной источник энергии движений человека (**энергетическая функция**). Мышцы, изменяя положение частей тела, обуславливают его воздействие на опору, среду и внешние тела. Посредством мышечных тяг человек управляет движениями, используя внешние силы и остальные внутренние силы (**управляющая функция**).

Силы пассивного противодействия

Силы пассивного противодействия включают: опорные реакции в суставах и местах прикрепления мышц и связок, силы сухого и жидкостного трения, силы инерции при ускорениях звеньев, органов и тканей, а также упругие силы деформации упругих образований.

При передаче сил по кинематическим цепям в виде сил давления костей друг на друга в суставах (вследствие воздействия веса частей тела и внешних тел, а также приложенных к костям тяг мышц и связок) возникают **опорные реакции**. Взаимное смещение органов и тканей при соприкосновении вызывает *силы трения*. К ним относятся и **трение со смазкой** (типа граничного и полусухого), и **жидкостное трение** как в жидких тканях и в прослойках между органами, так и в мягких тканях при их деформации (вязкость).

Вследствие деформаций тела человека возникают также *упругие силы* в пассивной части двигательного аппарата. Речь идет в первую очередь об упругих силах в связочном аппарате крупных суставов и соединений таких кинематических цепей, как позвоночник.

Все внутренние силы часто называют, в отличие от внешних, **усилиями**. В биомеханике **усилиями** именуют только **силы мышечной тяги**.

Динамические особенности в движениях человека

Роль сил в движениях человека

В классической механике изучается действие механических сил независимо от их источников, их происхождения. В биомеханике же существенно именно то, каковы источники сил и, следовательно, какова «цена» используемой силы для организма человека. Все силы, приложенные к двигательному аппарату человека, в биомеханике принято рассматривать в качестве так называемого силового поля.

Различают внешнее силовое поле как совокупность всех внешних для человека сил и внутреннее – как совокупность внутренних сил.

Внешнее силовое поле проявляется как силы сопротивления. Их работа отрицательная; для ее преодоления затрачивается энергия движения и напряжения мышц человека. Различают *рабочие* и *вредные* сопротивления.

Преодоление рабочих сопротивлений составляет главную задачу движений человека (например, в преодолении веса штанги и заключается цель движений со штангой).

Вредные сопротивления поглощают полезную работу; они в принципе неустранимы (например, силы трения лыж по снегу).

Внешние силы используются человеком в его движениях и как движущие. Для совершения необходимой работы, для преодоления человеком сил сопротивления могут использоваться вес, упругие силы, инерционные и др. Внешние силы являются в этом случае «даровыми» источниками энергии, поскольку человек расходует меньше внутренних запасов энергии мышц.

Человек преодолевает силы сопротивления мышечными и соответствующими внешними силами и совершает как бы две части работы:

- а) работу, направленную на преодоление всех сопротивлений (и рабочих, и вредных),
- б) работу, направленную на сообщение ускорений своим органам движения и перемещаемым внешним объектам.

В биомеханике **сила действия человека** – это **сила воздействия на внешнее физическое окружение, передаваемого через рабочие точки тела человека.**

Рабочие точки, соприкасаясь с внешними телами, передают движение (количество движения, а также кинетический момент) и кинетическую энергию (поступательного и вращательного движения) внешним телам. Сила действия человека может быть **статической**, если она уравновешена внешними силами, и **динамической**, если она вызывает соответствующие ускорения (положительные, отрицательные, тангенциальные, нормальные).

Задача движений, относящихся к спортивной технике, в самом общем виде заключается в **уменьшении действия вредных сопротивлений и увеличении эффективности силы действия человека с наилучшим использованием движущих сил – активных мышечных тяг и особенно сил, имеющих иные источники.**

К числу тормозящих сил, входящих в сопротивления, относятся все внешние и внутренние силы, в том числе и мышечные. Какие из сил будут играть роль вредных сопротивлений, зависит от условий конкретного упражнения. Только реактивные силы – силы опорной реакции и трения – не могут быть движущими силами: они всегда остаются сопротивлениями – как вредными, так и рабочими.

Эффективность приложения сил в механике определяют по коэффициенту полезного действия (КПД): отношению работы по преодолению

нию рабочих сопротивлений к работе движущих сил. Чем больше КПД, тем эффективнее движение.

При энергетических расчетах для оценки роли силы определяют мощность, характеризующую важную сторону ее эффекта – быстроту выполнения работы.

Мощность силы – это мера быстроты приращения работы силы. Мощность силы определяется как отношение выполненной работы к затраченному на эту работу времени:

$$N = A/\Delta t,$$

где N – мощность; A – совершаемая работа; Δs – элементарный путь; Δt – время, затраченное на ее выполнение.

Внутреннее силовое поле включает и движущие силы, и сопротивления (как рабочие, так и вредные). В движениях человека движущие силы имеются не всегда (их может не быть в движениях по инерции), а тормозящие – всегда. В связи с тем, что все движения в суставах характеризуются криволинейными траекториями, во всех случаях приложены отклоняющие (центростремительные) силы. От соотношения всех названных сил зависят ускорения звеньев.

Как уже указывалось, движений человека без ускорений в принципе не бывает. Следовательно, во всех движениях возникают силы инерции, направление которых противоположно направлению ускорений. Силы инерции внешних тел относятся к внешним силам; силы инерции, вызываемые взаимодействием частей тела человека, – к внутренним. Чрезвычайное обилие сил инерции (реальных – ньютоновых) очень усложняет управление движениями и, конечно, их анализ. При рассмотрении составного движения кинематических цепей необходимо учитывать также многочисленные переносные и поворотные силы инерции, возникающие в кинематических цепях. Следует постоянно помнить о вращательном характере движений: момент даже постоянной силы с изменением угла ее приложения изменяется.

Совместное действие сил

Внешние и внутренние относительно тела человека силы действуют на него совместно. Все эти силы независимо от их источника действуют как механические, изменяя механическое движение. В этом смысле они находятся в единстве: можно производить при соблюдении соответствующих условий их сложение, разложение, приведение и другие операции.

Внешние силы, действуя на тело человека, вызывают появление и изменение соответствующих внутренних сил. Это механические силы противодействия, в число которых входят обусловленные биологическими факторами силы мышечной тяги.

Посредством внутренних сил мышечной тяги человек может вызывать появление и изменение внешних сил, управляя в известных пределах их воздействием на самого себя.

Силы мышечной тяги – единственные внутренние источники энергии человека. Только посредством этих сил человек может использовать все остальные силы и управлять движениями.

Движения человека представляют собой результат совместного действия внешних и внутренних сил. Внешние силы как выражающие воздействие внешней среды обуславливают многие особенности движений. Внутренние силы как единственные непосредственно управляемые человеком обеспечивают правильное выполнение заданных движений.

По мере совершенствования движений становится возможным лучше использовать мышечные силы. Техническое мастерство проявляется в повышении удельного веса внешних и пассивных внутренних сил как движущих. При необходимости обеспечивается не только экономность (сбережение сил), экономичность (высокий КПД мышечных сил), но и высокий максимум мышечных сил и значительная быстрота достижения этого максимума при движении.

Контрольные вопросы

1. Понятие об инертности.
2. Масса тела.
3. Момент инерции тела.
4. Классификация сил.
5. Момент силы.
6. Действие силы.
7. Сила тяжести и вес.
8. Силы инерции внешних тел.
9. Силы сопротивления среды.
10. Реакции опоры.
11. Силы трения.
12. Силы упругой деформации.
13. Силы мышечной тяги.
14. Силы пассивного противодействия.
15. Роль сил в движениях человека.
16. Совместное действие сил.

ГЛАВА 7. ДВИГАТЕЛЬНЫЕ КАЧЕСТВА СПОРТСМЕНА, ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОЯВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЬНЫХ КАЧЕСТВ И БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИХ ВОСПИТАНИЮ

- *Основные двигательные качества спортсменов (сила, быстрота, выносливость, гибкость).*
- *Факторы, определяющие проявление двигательных качеств (анатомо-физиологические, режимы работы мышц, ЦНС).*
- *Биомеханические условия развития двигательных качеств (зависимость «сила – скорость», учет углов в суставах, биомеханические особенности развития выносливости, гибкости).*

Понятие о двигательных качествах

Совокупность двигательных возможностей человека принято называть моторикой.

Двигательными (или физическими) качествами принято называть отдельные качественно различные стороны моторики человека.

Понятие «двигательное качество» объединяет те стороны моторики, которые:

- 1) проявляются в одинаковых характеристиках движения и имеют один и тот же измеритель (например, максимальную скорость);
- 2) имеют аналогичные физиологические и биохимические механизмы и требуют проявления сходных свойств психики.

Как следствие этого, *методики совершенствования определенного двигательного качества имеют общие черты* независимо от конкретного вида движения. Например, выносливость в плавании и конькобежном спорте совершенствуют во многом сходными путями, хотя сами эти движения резко различны. Измерителями таких двигательных качеств, как мышечная сила, быстрота, выносливость, являются сила, скорость и длительность (время) движения. Сила, скорость и длительность движения находятся в определенном соотношении друг с другом. Это соотношение различно в разных двигательных заданиях.

Двигательным заданием называют движение со строго оговоренными условиями (параметрами) его выполнения. Например, не бег или толкание ядра вообще, а конкретно бег 200 м и толкание ядра весом 7257 г. Бег 200 и 400 м или толкание ядра 4 и 5 кг являются разными двигательными заданиями. В некоторых попытках спортсмен может поставить перед собой задачу показать наилучший результат. Например,

прыгнуть вверх с места на наибольшую высоту (т. е. оттолкнуться с максимальной скоростью), подтянуться на перекладине возможно большее число раз, пробежать 100 м за наименьшее время (с наибольшей средней скоростью). Зарегистрированные при этом значения называют соответственно *максимальными силой, скоростью или длительностью двигательного задания*. Эти значения зависят от задаваемых условий (параметров) движения. Такими параметрами являются, в частности, длина дистанции, вес снаряда. Если параметры двигательных заданий меняются, то меняются и названные значения.

Зависимости между показателями максимальной силы, скорости и длительности в разных двигательных заданиях, отличающихся значениями своих параметров (весом снаряда, длиной дистанции, заданной скоростью передвижения и т. п.), называют *параметрическими зависимостями*. Они получены в условиях, когда спортсмены пытались показать максимальный для себя результат, но изменение параметров (условий) заданий приводило к тому, что эти результаты оказывались различными. При некоторых значениях задаваемых параметров (оптимальном весе штанги или ядра, оптимальной длине дистанции и пр.) спортсмен может показать самые большие величины силы, скорости и времени. Такие величины называют лимитными (от лат. *limes* – граница, предел) показателями соответствующего движения (бега, плавания брассом, прыжка вверх с места и т. п.).

Другой подход – определение зависимости между лимитными значениями максимально возможных силы, скорости и времени с одной стороны, и величины максимальной силы, скорости и времени в отдельных двигательных заданиях – с другой. Например, определение связи между силой разгибателей ног и скоростью отталкивания в прыжках и т. д. Подобного рода зависимости между силой и скоростью и другими называют *непараметрическими*.

Измерителями таких двигательных качеств, как мышечная сила, быстрота и выносливость, являются их максимальные (в частности, лимитные) значения соответствующих двигательных заданий.

Биомеханическая характеристика силы

В биомеханике силой действия человека называется сила воздействия его на внешнее физическое окружение, передаваемая через рабочие точки своего тела. Примером могут быть сила давления на опору, сила тяги за рукоятку станкового динамометра и т. п.

Сила действия человека (СДЧ), как и всякая другая сила, может быть представлена в виде вектора и определена указанием:

- 1) направления,
- 2) величины (скалярной),
- 3) точки приложения.

Сила действия человека зависит от состояния данного человека и его волевых усилий, т. е. стремления проявить ту или иную величину силы, в частности максимальную силу, а также от внешних условий, в частности от параметров двигательных заданий.

Понятие о силовых качествах

Силовые качества характеризуются максимальными величинами силы действия (F_{\max}), которую может проявить тот или иной человек. Вместо термина «силовые качества» используют также термины «мышечная сила», «силовые возможности», «силовые способности». Наиболее распространенной является следующая классификация силовых качеств:

Силовые качества:

1. Собственно силовые (статическая сила)
2. Скоростно силовые:
 - а) динамическая сила;
 - б) амортизационная сила

Условия проявления:

- Статический режим и медленные движения
- Быстрые движения
- Уступающие движения

Сила действия человека и сила мышц

Сила действия человека непосредственно зависит от сил тяги мышц, т. е. сил, с которыми отдельные мышцы тянут за костные рычаги. Однако между натяжением той или иной мышцы и силой действия нет однозначного соответствия. Это объясняется, во-первых, тем, что почти любое движение происходит в результате сокращения большого числа мышечных групп; сила действия – итог их совместной активности; и, во-вторых, тем, что при изменении суставных углов меняются условия тяги мышц за кость, в частности плечи сил мышечной тяги. Поэтому закономерности биодинамики мышц проявляются в более сложном виде (и потому, конечно, что на проявления силы действия в решающей мере влияют физиологические и психологические факторы).

Зависимость силы действия от параметров двигательных заданий

Рассмотрим зависимость силы действия от таких характеристик двигательных заданий, как:

- а) скорость движущегося звена тела;
- б) направление движения.

Связь «сила действия – скорость». Если толкать ядра различного веса, измеряя скорость вылета ядра и проявленную силу действия, то сила и скорость будут находиться в обратно пропорциональной зависимости: чем выше скорость, тем меньше проявленная сила, и наоборот. В крайнем случае, когда ядро будет настолько тяжелым, что его уже нельзя сдвинуть с места, можно проявить наибольшую силу действия (статическое усилие, скорость равна нулю). Наоборот, при движении свободной руки (масса «ядра», а следовательно, и сила действия, приложенная к нему, равны нулю) скорость будет наибольшей. При толкании обычного ядра скорость и сила имеют какие-то средние величины.

Когда зависимость «сила–скорость» изучается в лабораторных условиях на изолированных мышцах, получаются весьма точные зависимости, характеризуемые уравнением Хилла. «Кривая Хилла» сохраняет свою форму, если в эксперименте удастся зарегистрировать силу и скорость сокращения отдельной мышцы у человека (это пока можно сделать только на больных после определенных ортопедических операций).

При регистрации же силы действия, обусловленной совокупной активностью многих мышц, картина несколько сложнее. Так, в односуставных движениях зависимость, как правило, полностью сохраняется. В многосуставных движениях в зонах очень больших сил или очень больших скоростей характер зависимости иногда меняется (например, иногда ядро весом 150 г метают дальше, чем 80 г).

Связь «сила действия – направление движения». Сила действия в уступающих движениях может значительно (до 50–100 %) превосходить максимальную изометрическую силу. Сила действия в уступающем режиме зависит от скорости. Чем быстрее происходит растягивание активных мышц, тем большую силу они проявляют.

Положение тела и сила действия человека

Сила действия человека зависит от положения его тела. Эту зависимость определяют следующие основные причины.

Первая: с изменением положения сустава изменяется длина мышц. Сила же, проявляемая мышцей, зависит от ее длины. Приближенно можно считать, что максимальная сила, проявляемая мышцей, падает пропорционально квадрату уменьшения ее длины. Наименьшие величины натяжения мышца проявляет при своём наибольшем укорочении.

Вторая: изменение плеча силы тяги мышцы относительно оси вращения (рис. 38). Известно, что в механике плечом силы называется кратчайшее расстояние (перпендикуляр) от оси вращения до линии действия силы. Характерное для двигательного аппарата человека близкое прикрепление мышц к оси вращения приводит к тому, что в большин-

стве движений достигается выигрыш в скорости и расстоянии за счет проигрыша в силе. Так, при угле, в локтевом суставе равном 90° , сгибатели его (в частности, двуглавая мышца плеча) проигрывают в силе приблизительно в 10 раз; в области ахиллова сухожилия при отталкивании стопой наблюдается перегрузка примерно в три раза и т. п. При изменении суставного угла плечо тяги мышц меняется, в результате меняется и создаваемый ими вращательный момент силы. Например, плечо силы длинной головки двуглавой мышцы плеча в зависимости от суставного угла может изменяться почти в четыре раза.

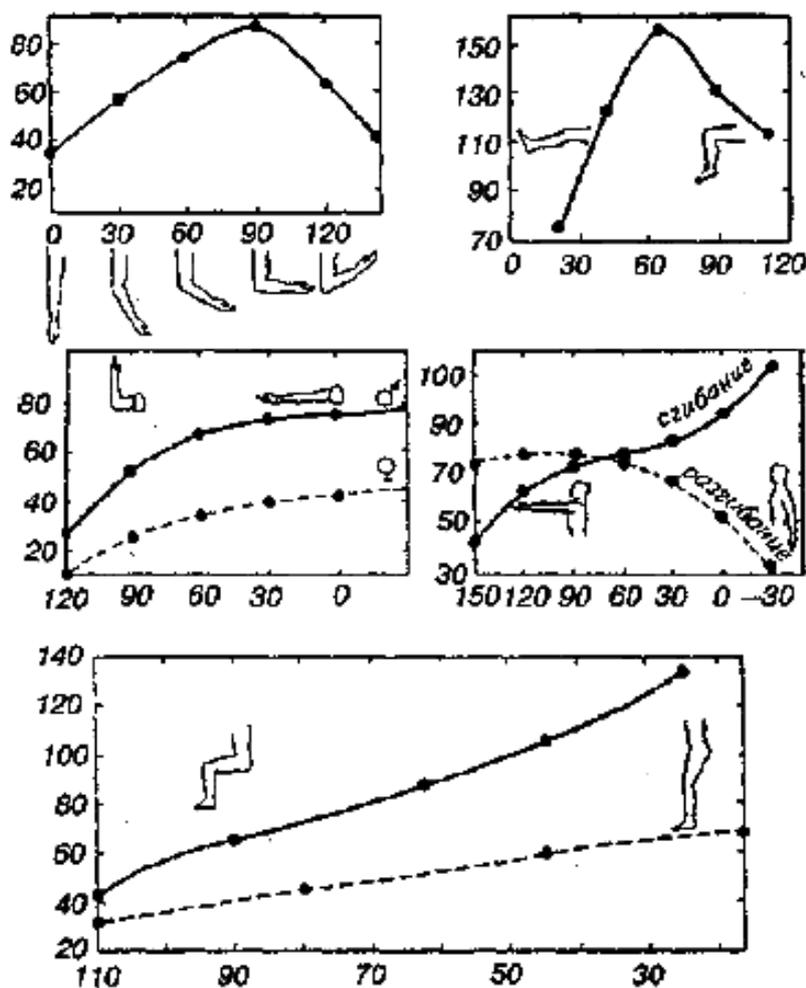


Рис. 38. Зависимость силы от суставных углов (сплошная линия – мужчины, пунктир – женщины)

Указанные причины – изменение длины мышц и плеч сил мышечного натяжения – обуславливают то, что для каждого односуставного движения существует определённая зависимость между суставным углом и максимальной силой действия. Как правило, в спорте в движении участвуют многосуставные мышцы, и поэтому картина усложняется, поскольку длина этих мышц зависит от положения в соседних суставах.

Например, максимальная сила действия при сгибании в коленном суставе зависит от угла не только в этом суставе, но и в тазобедренном.

Тренеры должны хорошо знать, как изменяется сила действия спортсмена при разных положениях его тела в соревновательном движении – без этого нельзя найти наилучший вариант техники.

Выбор положения тела при тренировке силы

При выборе силовых упражнений прежде всего необходимо убедиться в том, что в них будут активны именно те мышцы, силу которых надо увеличить. При этом следует иметь в виду, что подчас даже небольшие изменения положения тела могут привести к тому, что активными станут совершенно иные мышечные группы.

Выбор разных положений тела при выполнении силовых упражнений приводит к тому, что наибольшее натяжение активных мышц происходит при разной их длине. Экспериментально показано, что тренировка силовых качеств при растянутом положении активных мышечных групп вызывает меньший прирост силовых показателей, но более высокий их перенос на нетренируемые положения тела (по сравнению с тренировкой при укороченном положении тренируемых мышц). Наоборот, если максимальное натяжение активных мышц имеет место при наибольшем их укорочении, силовые качества растут быстрее. Однако в этом случае перенос на нетренируемые положения тела существенно ниже, чем при тренировке в условиях удлиненного состояния активных мышц.

При одной и той же силе действия и разных позах величины сил и силовых моментов, действующих в отдельных суставах, могут быть совершенно различны. При неправильно выбранной позе силы могут стать настолько большими, что приведут к травме. Такие – опасные! – позы тела называют критическими. При правильной технике выполнения упражнения спортсмен избегает критических поз (т. е. не перегружает мышцы и связки какого-либо сустава).

Топография силы

Соотношение максимальной силы действия разных мышечных групп получило название топографии силы. Чтобы получить относительно полное представление о топографии силы у какого-либо человека, надо измерить силу возможно большего числа его мышечных групп.

У людей, не занимающихся спортом, обычно лучше всего развиты мышцы, противодействующие силе тяжести (так называемые антигравитационные мышцы): разгибатели спины и ног, сгибатели рук.

У спортсменов топография силы зависит от спортивной специализации. Во многих видах спорта обнаружена прямая зависимость между показателями топографии силы и спортивными результатами.

Неправильная топография силы может препятствовать овладению рациональной техникой даже в том случае, если сила отдельных мышечных групп сама по себе достаточна для успешного обучения. Скажем, начинающих толкателей ядра, у которых сила разгибателей рук относительно превосходит силу нижних конечностей, трудно обучить рациональной технике толкания. Они стремятся выполнить его в основном за счет движения толкающей руки и мало используют мощные мышцы ног и туловища.

Биомеханические требования к специальным силовым упражнениям

Метод сопряжённого воздействия

Специальными называются упражнения, предназначенные для совершенствования техники и двигательных качеств, проявляемых при выполнении основного соревновательного движения. Эти упражнения выполняют свое назначение, если они достаточно близки к соревновательному движению. С биомеханической точки зрения такие упражнения должны удовлетворять так называемому принципу динамического соответствия (по Ю. В. Верхошанскому), т. е. соответствовать соревновательному по следующим критериям:

- а) амплитуде и направлению движения;
- б) акцентированному участку рабочей амплитуды движения;
- в) величине силы действия (или мышечной тяги);
- г) быстроте развития максимума силы действия;
- д) режиму работы мышц.

Например, в легкой атлетике и сейчас еще нередко используют для развития силы мышц, сгибающих ногу в тазобедренном суставе, поднятие бедром диска от штанги (или другого отягощения) в положении стоя. Однако в этом упражнении ни амплитуда движения, ни, что еще более важно, акцентированный участок движения не соответствуют таковым в беге и прыжках. Там акцентированный участок работы мышц-сгибателей бедра – в самом начале «выноса бедра» вперед при угле в тазобедренном суставе примерно 210° ; а в поднятии бедром отягощения – при угле около 90° . Существует большое число специальных упражнений, где те же мышечные группы развиваются в условиях, гораздо более близких бегу и прыжкам.

В качестве специальных силовых упражнений в современном спорте часто используют основные соревновательные движения с искусственно увеличенным сопротивлением: метание утяжеленных снарядов, прыжки, бег, ходьбу с дополнительным отягощением (например, поясами или жилетами из просвинцованной резины), по песку или в гору и т. п. Поскольку при этом одновременно совершенствуются двигатель-

ные качества и техника движений, данное методическое направление получило название метода сопряженного воздействия (В.М. Дьячков).

Биомеханическая характеристика скоростных качеств

Понятие о скоростных качествах

Скоростные качества характеризуются способностью человека совершать двигательные действия в минимальный для данных условий отрезок времени. При этом предполагается, что выполнение задания длится небольшое время и утомления не возникает.

Принято выделять три основные (элементарные) разновидности проявления скоростных качеств:

- 1) скорость одиночного движения (при малом внешнем сопротивлении);
- 2) частоту движений;
- 3) латентное время реакции.

Между показателями скорости одиночного движения, частоты движений и латентного времени реакции у разных людей корреляция очень мала. Например, можно отличаться очень быстрой реакцией и быть относительно медленным в движениях, и наоборот. Имея это в виду, говорят, что элементарные разновидности скоростных качеств относительно независимы друг от друга.

В практике приходится обычно встречаться с комплексным проявлением скоростных качеств. Так, в спринтерском беге результат зависит от времени реакции на старте, скорости отдельных движений (отталкивания, сведения бедер в безопорной фазе) и частоты шагов. Скорость, достигаемая в целостном сложнокоординированном движении, зависит не только от скоростных качеств спортсмена, но и от других причин (например, скорость бега – от длины шагов, а та, в свою очередь, от длины ног, силы и техники отталкивания), поэтому она лишь косвенно характеризует скоростные качества, и при детальном анализе именно элементарные формы проявления скоростных качеств оказываются наиболее показательными.

В движениях циклического характера скорость передвижения непосредственно определяется частотой движений и расстоянием, пройденным за один цикл (длиной шага).

С ростом спортивной квалификации (а следовательно, и с увеличением максимальной скорости передвижения) оба компонента, определяющие скорость передвижения, как правило, возрастают. Однако в разных видах спорта по-разному. Например, в беге на коньках основное значение имеет увеличение длины шага, а в плавании – примерно в равной степени оба компонента. При одной и той же максимальной скоро-

сти передвижения у разных спортсменов могут быть значительные различия в длине и частоте шагов.

Динамика скорости

Динамикой скорости называется изменение скорости движущегося тела.

В спорте существуют два вида заданий, требующих проявления максимальной скорости. В первом случае необходимо показать максимальную мгновенную скорость (в прыжках – к моменту отталкивания; в метании – при выпуске снаряда и т. п.); динамику скорости при этом выбирает сам спортсмен (например, он может начать движение чуть быстрее или медленнее). Во втором случае необходимо выполнить с максимальной скоростью (в минимальное время) все движение (пример: спринтерский бег). Здесь тоже результат зависит от динамики скорости. Например, в спринтерском беге наилучший результат достигается в тех попытках, где мгновенные скорости на отдельных отрезках стартового разгона не являются максимальными для данного человека.

Во многих движениях, выполняемых с максимальными скоростями, различают две фазы:

- 1) увеличения скорости (стартового разгона);
- 2) относительной стабилизации скорости.

Характеристикой первой фазы является стартовое ускорение, второй – дистанционная скорость.

Способность быстро набирать «свою» максимальную скорость и способность передвигаться с большой скоростью относительно независимы друг от друга. Действительно, сильнейшие спринтеры достигают своей максимальной скорости в беге примерно за то же время, что и новички, – через 5–6 с с момента ухода со старта. Можно обладать хорошим стартовым ускорением и невысокой дистанционной скоростью, и наоборот. В одних видах спорта главным является стартовое ускорение (баскетбол, теннис, хоккей), в других важна лишь дистанционная скорость (прыжки в длину), в третьих существенно и то и другое (спринтерский бег).

Скорость изменения силы (градиент силы)

Слово «скорость» употребляется для обозначения не только быстроты изменения положения тела или его частей в пространстве, но и быстроты изменения других показателей (например, можно говорить о скорости изменения температуры). Сила действия, которую проявляет человек в одной попытке, непрерывно изменяется. Это вызывает необходимость изучения скорости изменения силы – градиента силы. Гради-

ент силы особенно важен при изучении движений, где необходимо проявлять большую силу в возможно короткое время, – «взрывом».

Математически градиент силы равен первой производной от силы по времени.

Скорость нарастания силы играет большую роль в быстрых движениях.

С ростом спортивной квалификации время выполнения движений обычно сокращается и поэтому роль градиента силы становится более значимой.

Время, необходимое для достижения максимальной силы, составляет примерно 300–400 мс. Время проявления силы действия во многих движениях значительно меньше. Например, отталкивание в беге у сильнейших спринтеров длится менее 100 мс, отталкивание в прыжках в длину – менее 150–180 мс, отталкивание в прыжках в высоту – менее 250 мс, финальное усилие в метании копья – примерно 150 мс и т. п. Во всех этих случаях спортсмены не успевают проявить свою максимальную силу, и достигаемая скорость зависит в значительной степени от градиента силы. Например, между высотой прыжка вверх с места и коэффициентом реактивности очень большая корреляция (прыгает выше тот спортсмен, кто при том же собственном весе может развить большую силу отталкивания за наименьшее время).

Параметрические и непараметрические зависимости между силовыми и скоростными качествами

Если спортсмен несколько раз выполняет одно и то же движение (например, толкание ядра с места), стремясь показать в каждой попытке наилучший результат, а параметры двигательного задания (в частности, вес ядра) при этом меняются, то величины силы действия, приложенной к ядру, и скорость вылета ядра будут связаны друг с другом *параметрической* зависимостью.

Под влиянием тренировки параметрическая зависимость «сила – скорость» может изменяться по-разному. Это определяется тем, какие тренировочные средства и методы использовались спортсменом.

Существенно, что прирост скорости при движениях со средними сопротивлениями (а такими сопротивлениями в реальных спортивных условиях могут быть, например, вес и масса собственного тела или снаряда) может происходить при разном соотношении прироста силовых и скоростных качеств: в одних случаях – за счет роста скоростных качеств, в других – за счет роста силовых качеств.

Какой путь роста скоростных показателей является в тренировке более выгодным, зависит от многих причин (возраста спортсмена, стажа

занятий, вида спорта и др.), и в частности от величины сопротивления, которое приходится преодолевать спортсмену: чем оно больше, тем более важно повышение силовых качеств.

Биомеханические аспекты двигательных реакций

Различают простые и сложные двигательные реакции. ***Простая реакция*** – это ответ заранее известным движением на заранее известный (внезапно появляющийся) сигнал. Примером может быть скоростная стрельба из пистолета по силуэтам, старт в беге и т. п. Все остальные типы реакций – когда заранее неизвестно, что именно надо делать в ответ на сигнал и каким будет этот сигнал, – называются ***сложными***.

В двигательных реакциях различают:

- 1) сенсорную фазу – от момента появления сигнала до первых признаков мышечной активности (обычно они регистрируются по ЭМГ, т. е. по появлению электрической активности в соответствующих мышечных группах);
- 2) премоторную фазу (электромеханический интервал – ЭМИ) – от появления электрической активности мышц до начала движения; этот компонент наиболее стабилен и составляет 25–60 мс;
- 3) моторную фазу – от начала движения до его завершения (например, до удара по мячу).

Сенсорный и премоторный компоненты образуют латентное время реагирования.

С ростом спортивного мастерства длительность как сенсорного, так и моторного компонентов в сложных реакциях сокращается. Однако в первую очередь сокращается сенсорная фаза (спортсмену нужно меньше времени для принятия решения), что позволяет более точно, спокойно и уверенно выполнить само движение. Вместе с тем, как бы она ни сокращалась, нужно иметь возможность наблюдать объект реакции (мяч, противника и т. п.) достаточное время. Когда движущийся объект попадает в поле зрения, глаза начинают двигаться, как бы сопровождая его. Это движение глаз происходит автоматически и не может быть произвольно заторможено или ускорено.

Приблизительно через 120 мс после начала прослеживаемого движения глаз происходит опережающий поворот головы примерно в то место пространства, куда передвигается объект и где он может быть «перехвачен». Поворот головы происходит также автоматически (даже у людей, плохо умеющих ловить мяч), но при желании может быть заторможено. Если поворот головы не успевает произойти и вообще если время наблюдения за движущимся объектом мало, успешность реакции уменьшается.

Большое значение в сложных реакциях приобретает умение предугадывать действия противника (например, направление и характер удара или броска мяча, шайбы). Подобное умение называют *антиципацией*, а соответствующие реакции – *антиципирующими*.

Что касается моторной фазы реакции, то продолжительность ее при разных вариантах технических действий различна.

Например, для того чтобы поймать мяч, требуется больше времени, чем для того, чтобы его отбить. У вратарей-гандболистов скорости движений при защите разных углов ворот различны; различны поэтому и расстояния, с которых они могут успешно отражать броски в разные секторы ворот. Расстояния, с которых мяч уже не может быть пойман или отражен без антиципации, иногда называют «мертвой зоной».

Биомеханическая характеристика гибкости

Гибкостью называется способность выполнять движения с большой амплитудой. Слово «гибкость» используется обычно как более общий термин. Применительно к отдельным суставам говорят о подвижности в них.

Для точного измерения гибкости (подвижности в суставах) надо измерить угол в соответствующем сочленении в крайнем возможном положении между сочленяющимися звеньями. Измерение углов движений в суставах, как известно, называется гониометрией (от греч. *gonio* – угол и *metron* – мера). Поэтому говорят, что для измерения гибкости используются гониометрические показатели. Наиболее детальный способ измерения гибкости – так называемый глобографический. При этом поверхность, очерчиваемая в пространстве дистальной точкой движущейся кости, рассматривается как «глобус», на котором определяют предельные значения «меридианов» и «параллелей». В спортивной практике для измерения гибкости нередко используют не угловые, а линейные меры. В этом случае на результате измерения могут сказаться размеры тела, например длина рук (при наклоне вперед или выполнении выкрута с палкой), длина туловища (при измерении расстояния между руками и ногами во время выполнения гимнастического моста). Поэтому линейные меры менее точны и, применяя их, следует вводить поправки, устраняющие нежелательное влияние размеров тела.

Выделяют активную и пассивную гибкость. *Активная гибкость* – способность выполнять движения в каком-либо суставе с большой амплитудой за счет активности мышечных групп, проходящих через этот сустав (пример: амплитуда подъема ноги в равновесии «ласточка»). *Пассивная гибкость* определяется наивысшей амплитудой, которую можно достичь за счет внешних сил. Показатели пассивной гибкости больше соответствующих показателей активной гибкости. Разница между ними

называется дефицитом активной гибкости. Он определяется зависимостью «длина – сила тяги» активной мышцы, в частности величиной силы тяги, которую может проявить мышца при своем наибольшем укорочении. Если эта сила недостаточна для дальнейшего перемещения сочленяющихся звеньев тела, то говорят об активной недостаточности мышцы. Экспериментально показано, что активная недостаточность может быть уменьшена (соответственно уменьшен дефицит активной гибкости и повышена сама активная гибкость) за счет силовых упражнений, выполняемых с большой амплитудой движения. Рост силовых качеств приводит в этом случае к увеличению показателей активной гибкости.

Гибкость зависит от ряда условий: температуры окружающей среды (повышение температуры приводит к повышению гибкости), времени суток (в середине дня она выше), разминки и др.

В спорте не следует добиваться предельного развития гибкости. Ее надо развивать лишь до такой степени, которая обеспечивает беспрепятственное выполнение необходимых движений. При этом величина гибкости должна несколько превосходить ту максимальную амплитуду, с которой выполняется движение («запас гибкости»). Например, высококвалифицированные прыгуны на лыжах с трамплина используют в полете запас активного разгибания (тыльного сгибания) стопы в среднем на 93,5 %. Нередко у спортсменов наблюдается прямая корреляция между показателями гибкости и амплитудой движений в основных упражнениях.

Высокая корреляция говорит о том, что спортсмены с большими показателями гибкости имеют преимущество в спортивной технике: они выполняют основное спортивное движение с большей амплитудой.

Рекуперация энергии в движениях человека осуществляется двумя способами

Во-первых, кинетическая энергия движения может переходить в потенциальную энергию гравитации (сил тяжести). Например, в обычной ходьбе наивысшему положению ЦМ тела (максимуму потенциальной энергии) соответствует минимум кинетической энергии, и наоборот, кинетическая энергия тела самая большая, когда его ОЦМ находится в самом низком положении. Образно можно себе представить, что ОЦМ движется как шарик, катящийся по неровной поверхности: на подъемах кинетическая энергия переходит в потенциальную, а на спусках – наоборот. Благодаря этому полная механическая энергия тела (т. е. сумма его кинетической и потенциальной энергии) сохраняется. Разумеется, это сохранение не стопроцентное – значительная часть энергии рассеивается. Но все же благодаря описанному явлению экономичность ходьбы значительно повышается.

Во-вторых, кинетическая энергия движения превращается в потенциальную энергию упругой деформации мышц, а накопленная потенциальная энергия частично снова превращается в работу – идет на сообщение скорости телу и его подъём. В модельных опытах (прыжки на месте) показано, что рациональное использование упругих сил мышц может повысить экономичность работы более чем в два раза.

Повышение экономичности спортивной техники – основное направление её совершенствования в видах спорта, требующих большой выносливости.

Биомеханическая характеристика выносливости

Основы эргометрии

Эргометрией называется совокупность количественных методов измерения физической работоспособности человека.

Когда человек выполняет какое-либо достаточно длительное двигательное задание (например, бег или плавание на заданную дистанцию, подъем или удержание какого-либо груза либо собственного тела), мы всегда имеем дело с тремя основными переменными:

1. Интенсивность выполняемого двигательного задания. Словами «интенсивность двигательного задания» обозначается одна из трех механических величин:

- а) скорость спортсмена (например, в беге; единица измерения – м/с);
- б) мощность (например, при педалировании на велоэргометре; единица измерения – ватты);
- в) сила (например, при статическом удержании груза; единица измерения – ньютоны).

2. Объем выполненного двигательного задания. Этими словами обозначается одна из следующих трех механических величин:

- а) пройденное расстояние (например, в беге; единица измерения – метры);
- б) выполненная работа (в физическом смысле, например, при вращении педалей велоэргометра; единица измерения – джоули);
- в) импульс силы (при статическом усилии; единица измерения – ньютон-секунды).

3. Время выполнения (единица измерения – секунды).

Показатели интенсивности, объема и времени выполнения двигательного задания называются эргометрическими показателями. Один из них всегда задается как параметр двигательного задания; два других – измеряются. Например, при беге на 5000 м дистанция задается заранее,

а время бега и средняя скорость измеряются; при часовом беге задается время, а измеряются дистанция и скорость; при беге с заданной скоростью «до отказа» измеряются дистанция и время, скорость же определяется заранее и т. д.

Если величины времени, интенсивности и объема двигательных заданий соответствуют друг другу, то, как экспериментально показано, при разных вариантах заданий получаются совпадающие результаты. Например, если спортсмены пробегают дистанцию 3 км за 12 мин (средняя скорость – 4,1 м/с), то при задании пробежать наибольшую дистанцию за 12 мин (так называемый тест Купера) они пробегут тоже 3 км, а если им предложить бежать с постоянной скоростью 4,1 м/с, то они будут в состоянии поддерживать ее в среднем лишь 12 мин (это для них предельная длительность данного двигательного задания) и пробегут за это время те же 3 км. Таким образом, конкретный вариант задания (что именно – дистанция, скорость или время – задается, а что измеряется) для эргометрических показателей не имеет значения. Поэтому результаты, полученные в заданиях одного типа (например, в беге с заданной скоростью), можно переносить на задания другого типа (например, бег на определенную дистанцию), если только задаваемые или регистрируемые значения времени, интенсивности и объема двигательных заданий совпадают. Это так называемое **правило обратимости двигательных заданий**.

В действительности эти зависимости усложняются рядом дополнительных факторов (например, возможностью локального утомления отдельных мышечных групп, замедленностью развертывания аэробных процессов в начале мышечной работы, неодинаковой экономичностью мышечной работы разной продолжительности).

Утомление и его биомеханические проявления

Утомлением называется вызванное работой временное снижение работоспособности.

Существуют, как известно, несколько основных типов утомления: умственное, сенсорное, эмоциональное, физическое (вызванное мышечной деятельностью). В биомеханике рассматривается только физическое утомление.

Утомление при мышечной работе проходит через две фазы:

- 1) фазу компенсированного утомления – в ней, несмотря на возрастание затруднения, спортсмен сохраняет интенсивность выполнения двигательного задания на прежнем уровне;
- 2) фазу декомпенсированного утомления – в ней спортсмен, несмотря на все старания, не может сохранить необходимую интенсивность выполнения задания.

В фазе компенсированного утомления скорость передвижения не снижается, но происходят изменения в технике движений. Снижение одних показателей компенсируется ростом других. Частота шагов компенсирует уменьшение длины шага.

Под влиянием утомления снижаются скоростно-силовые показатели утомлённых мышц. Такое снижение может до определённой степени компенсироваться сознательным или бессознательным изменением техники движения (барьерный бег).

Наблюдаемые в состоянии утомления изменения в технике движений имеют двоякую природу: *изменения, вызванные утомлением*, и *приспособительные реакции*, которые должны компенсировать эти изменения, а также снижение функциональных возможностей спортсмена.

В результате далеко не всегда ясно, полезным или вредным является то или иное изменение в технике движений при утомлении (например, меньшее сгибание ноги в коленном суставе при беге: надо ли с ним бороться или именно такой вариант исполнения в утомленном состоянии лучше других?). Это решается в каждом конкретном случае на основе практического опыта и специальных биомеханических исследований.

Повышение устойчивости спортивной техники по отношению к утомлению – одна из важных задач во многих видах спорта. Это достигается длительной специальной тренировкой (в том числе и в состоянии утомления). Например, у сильнейших велосипедистов-шоссейников техника в состоянии утомления практически не меняется. Подсчитано, что они делают в год около 5 млн оборотов педалей (для сравнения: за все время обучения в школе ученик пишет лишь около 1 млн букв).

Выносливость и ее биомеханические аспекты

Если предложить одно и то же двигательное задание разным людям, признаки утомления у них появятся через разное время. Причиной этого является, очевидно, разный уровень выносливости у этих людей. Выносливостью называется способность противостоять утомлению. При прочих равных условиях у более выносливых людей наступает позже как первая, так и вторая фаза утомления. Основным мерилom выносливости считают время, в течение которого человек способен поддерживать заданную интенсивность двигательного задания. Согласно правилу обратимости двигательных заданий, для измерения выносливости можно использовать и другие эргометрические показатели.

Рассмотрим пример: спортсмены лежа выжимают «до отказа» штангу 50 кг. Если не учитывать уровень их максимальной силы, то более выносливыми следует считать тех, кто смог поднять штангу большее число раз. Если же учесть, что максимальная сила у одних спортс-

менов невелика (скажем, 55 кг), а у других намного больше, то ясно, что на полученный результат повлияет не только разный уровень выносливости испытуемых, но и разные силовые возможности. Устранить их влияние можно было бы, например, так: предложить всем выжимать штангу, вес которой равен определенному проценту от их максимальной силы (скажем, 50 % от макс.). В первом случае интенсивность задания уравнивалась в абсолютных единицах (килограммах), во втором – в относительных (в %).

Рассмотрим другой пример: два спортсмена (условно А и Б) бегут 800 м. Результат А – 2 мин 10 с, В – 2 мин 12 с. Очевидно, А более вынослив, чем Б. Однако допустим, что А пробегает 100 м за 10,5 с, а Б – лишь за 15,0 с. Если учитывать уровень скорости, которым владеют спортсмены, результат А на 800 м является слабым; время Б, наоборот, надо расценивать как очень хорошее. Таким образом, если не учитывать уровень максимальной скорости спортсменов, то А выносливее, чем Б; если же учесть их скоростные возможности, соотношение меняется: Б будет выносливее, чем А.

Тренеры в видах спорта циклического характера должны знать, чему равны показатели запаса скорости (или другие латентные показатели выносливости) на разных дистанциях у спортсменов разной квалификации, это поможет определять слабые стороны в подготовке спортсменов, что именно отстаёт – скорость или выносливость.

Биомеханические основы экономизации спортивной техники

С биомеханической точки зрения есть два различных пути повышения экономичности движений:

- 1) снижение величин энерготрат в каждом цикле (например, в каждом шаге);
- 2) рекуперация энергии, т. е. преобразование кинетической энергии в потенциальную и ее обратный переход в кинетическую.

Что касается первого пути, то он реализуется несколькими основными способами:

1. Устранением ненужных движений (например, в вертикальном направлении; ведь каждая работа по подъему тела требует затрат энергии и оправдана лишь постольку, поскольку она абсолютно необходима для продвижения вперед).

2. Устранением ненужных сокращений мышц. У квалифицированных спортсменов суммарное время активности мышц меньше, а время расслабленного состояния больше, чем у новичков. Это достигается за счет так называемой концентрации активности мышц. Внешне это выражается в легкости и свободе движений.

3. Уменьшением внешнего сопротивления (например, уменьшением сопротивления воды в плавании за счет выбора более обтекаемого положения тела).

4. Уменьшением внутрицикловых колебаний скорости. Повышение скорости (после ее падения) требует затрат энергии. По возможности такие колебания надо уменьшать, хотя в некоторых видах спорта (плавание брассом, академическая гребля) они поневоле остаются значительными.

5. Выбором оптимального соотношения между силой действия и скоростью рабочих движений. В некоторых видах спорта (велосипедном, гребле) можно сохранить одну и ту же скорость передвижения при разном соотношении силы действия и скорости отдельных движений (например, в гребле за счет изменения площади лопасти весла). Аналогично в лабораторных условиях можно поддерживать ту же мощность на велоэргометре при разном соотношении силы действия и скорости педалирования. Для каждой заданной скорости передвижения или мощности существует свое оптимальное соотношение между силой действия и скоростью рабочих движений. Наиболее просто вопрос сохранения его решается в велосипедном спорте, где величина сопротивления задается сменой передачи (можно сделать так, что за один рабочий цикл велосипед будет проезжать разные расстояния). На разных передачах велосипедист будет ехать при одной и той же величине энергозатрат с разной скоростью.

6. Выбором оптимального соотношения между длиной и частотой шагов.

Подобного рода зависимости существуют и в других циклических локомоциях. Интересно, что в ходьбе оптимальная (по затратам энергии) длина и частота шагов подбирается человеком без специального обучения. В других циклических локомоциях нередко можно наблюдать довольно значительные отклонения от наиболее выгодного соотношения этих характеристик. Подобные отклонения должны устраняться тренером.

Контрольные вопросы

1. Основные двигательные качества спортсменов (сила, быстрота, выносливость, гибкость).
2. Факторы, определяющие проявление двигательных качеств (анатомо-физиологические, режимы работы мышц, ЦНС).
3. Биомеханические условия развития двигательных качеств (зависимость «сила–скорость», учет углов в суставах, биомеханические особенности развития выносливости, гибкости).
4. Параметрические и непараметрические зависимости между физическими качествами.

5. Биомеханические аспекты двигательных реакций.
6. Рекуперация энергии в движениях человека.
7. Основы эргометрии.
8. Биомеханические основы экономизации спортивной техники.

ГЛАВА 8. СТРУКТУРА ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА И УПРАВЛЕНИЕ ИМИ

- *Системы движений.*
- *Физическое упражнение как управляемая система.*
- *Координация движений человека.*
- *Формирование систем движений.*

Закономерности объединения движений в систему изучаются как ее структура. От того, как объединено множество движений в единое целое, зависит самое существенное – **насколько совершенно** данное двигательное действие (акт).

Произвольные движения человека – целесообразные движения, соответствующие осознаваемой цели благодаря управлению. В системе движений управление тесно связано с ее структурой. Изучение структуры движений человека и управления ими позволяет понять, как используются законы движений (механические и биологические) в двигательной деятельности человека для достижения цели.

Двигательное действие как система движений

Виды систем

Система как единое целое закономерно объединяет в определенном порядке разнородные составные части (элементы), которые взаимодействуют друг с другом.

Слово «система» по-гречески означает «целое, составленное из взаимодействующих частей». Весь окружающий нас мир представляет собою огромное множество систем.

Двигательный аппарат человека включает более 200 костей (в соединениях которых свыше 100 степеней свободы движений), более 600 мышц – это пример **вещественной системы**.

В теле функционируют многие системы органов, объединенные в единую систему – организм.

Процессы, происходящие в системах органов, также объединяются в системы. Биомеханику более всего интересуют системы движений, а также системы процессов управления. Это примеры другого вида систем – **систем процессов**.

Системы органов движения и самих движений обладают различными свойствами (например, упругость, вязкость мышц; целостность и

расчлененность движений). Эти свойства не единичны, не обособлены, они взаимосвязаны, зависимы друг от друга – это **системы свойств**.

Наконец, и в движениях, и в управлении ими выявляются связанные друг с другом отношения: соподчинение (субординация), самоуправление (автономия) и др. Эти отношения также объединены в единое целое – **систему отношений**.

Состав системы движений

В системе движений различают составляющие ее элементы, которые выделяют как элементы пространственные и временные.

Все двигательные действия человека выполняются посредством движений тела в пространстве с течением времени. Мысленно их можно рассматривать, выделяя как составные части целого в пространстве и во времени. **Определить состав системы** – это значит **выделить по тому или иному признаку ее элементы** (составные части).

Пространственные элементы системы движений выделяют по изменению пространственных координат звеньев – это **суставные движения**. Самым простым является движение одного звена в одном суставе вокруг одной оси, в одну сторону. Такое элементарное изолированное движение в практике используется очень редко. В двигательной деятельности в спорте всегда встречаются объединения, комплексы суставных движений. Движения объединяются в **одновременные группы** (например, отталкивание во всех суставах ноги) и **последовательные ряды** (например, подседание, отталкивание, перенос ноги). Это комплексы элементов в пространстве, например движения рук, ног, туловища в беге или лыжном ходе.

Таким образом, **пространственные элементы системы движений представляют собой группы одновременных суставных движений, которые, сменяясь, развертываются во времени в последовательные ряды**. Группы и ряды суставных движений представляют собой комплексы движений.

Временные элементы системы движений, части системы движений, выделяемые во времени, – это **фазы движений**. Их выделяют по существенным, измеримым характеристикам движений. **Фаза – это часть системы движений, выполняемых за время, в течение которого не произошло существенных изменений в их характере**. В момент времени, когда наступает существенное изменение (например, момент остановки лыжи после скольжения), заканчивается одна фаза и начинается следующая. Момент изменения движений служит границей двух соседних фаз, он не имеет длительности. Смена фазы – это смена особенностей выполняемого движения, смена частной задачи рассматриваемых движений.

Таким образом, **временные элементы системы движений представляют собой фазы движений как ряды движений более или менее постоянного характера.** Фазы, объединяясь в периоды, действия, составляют **циклы движений**, представляющие более крупные комплексы движений.

Пространственные и временные элементы системы представляют собой одни и те же движения, из которых состоит система, только рассматриваются, выделяются они по разным признакам (в пространстве и во времени). Элементы движений как составные части системы – это тоже движения, но меньшие по объему и более простые, чем целое, чем вся система. Элементы выделяются мысленно – для анализа состава системы, а также практически – для построения специальных упражнений.

Выше уже указывалось, что элементы объединены в комплексы, из которых построена целая система. Один и тот же элемент входит в несколько объединений: более крупные включают в себя более мелкие. Такой ступенчатый, или **иерархический**, порядок объединения элементов характерен для всех сложных систем. Он типичен и для систем движений.

Так, определенные движения стопы в сочетании с движениями голени и бедра обеспечивают отталкивания ног. Сочетание движений толчковой и маховой ног – это комплекс более высокого порядка. Движения ног в сочетании с маховыми движениями рук – еще более крупный комплекс. Наконец, движения всех звеньев тела образуют целостную систему движений при отталкивании и прыжке. Предварительные действия (до отталкивания) и последующие входят в еще более крупную систему.

Значит, **составные части большой системы – это тоже своего рода системы, только более мелкие, подчиненные.** Они называются **подсистемами**. Таковы, например, синергии – группы движений, решающих в системе движений частные двигательные задачи.

По сути дела, почти каждый элемент, выделяемый при анализе системы движений, кроме самых малых, представляет собою уже более или менее сложную подсистему. В этом смысле можно рассматривать **подсистемы как элементы системы.**

Элементы в подсистемах, а подсистемы в системе движений находятся во взаимосвязях, которые обуславливают структуру. Взаимодействия внутри каждой подсистемы и между подсистемами не только существуют, но и развиваются.

Внутренние взаимодействия обуславливают целостность системы. Движения согласованы в пространстве и во времени; силы, приложенные к кинематическим цепям тела, находятся в известных соотношениях.

Движения выполняются в соответствии с окружающими условиями. Они складываются под непосредственным влиянием внешних сил и сами в той или иной мере изменяют окружающие условия – это **внешние взаимодействия системы**.

Все эти связи и отношения закономерны. Это не значит, что они постоянны – они изменчивы, но изменчивость здесь не хаотическая, не случайная, а закономерная.

Объединенные в систему элементы получают новые свойства. Так, например, из усилий многих мышц складывается общая сила действия человека. Совместное участие мышц в наращивании скорости в биокинематической цепи создает новые скоростные возможности. По мере совершенствования системы движений все больше проявляются ее **системные свойства**. Каждый элемент в отдельности не обладает такими свойствами. Они проявляются в системе благодаря взаимодействиям в ней.

Наконец, от того, в каком направлении развиваются взаимодействия в системе, насколько они прочны, насколько они могут приспособиться к условиям, от многих других их особенностей зависят возможности дальнейшей перестройки системы – **развития системы**. Все рассмотренные здесь особенности взаимодействий в системе движений составляют ее структуру.

Виды структур в системе движений

Структура системы – это наиболее сложившиеся и определяющие закономерности взаимодействий упорядоченных компонентов системы (подсистем и их элементов). Структура определяет течение внутренних процессов, взаимодействие с внешним окружением, появление новых свойств и возможности развития системы.

Кинематические структуры

Кинематическая структура – это закономерности взаимодействия движений (подсистем и их элементов) в пространстве и во времени.

В первую очередь поддаются наблюдению форма и характер движений, внешняя их картина.

Кинематическая структура – не сами движения и не их кинематические характеристики, а взаимосвязи и взаимоотношения, которые существуют между движениями в пространстве и во времени. Это взаимные зависимости между их кинематическими характеристиками. Закономерности структуры находят, изучая характеристики (траектории, длительности, темп, ритм, скорости и ускорения).

Соответственно различают структуры: **пространственные**, раскрывающие форму движений в пространстве, их связи; **временные**, по-

казывающие, как организована во времени система движений; **пространственно-временные** – главные показатели быстроты изменения положения и движения. Каждая из этих структур имеет свое особое, частное значение; лишь все вместе во взаимосвязи они образуют общую кинематическую структуру. При высоком совершенстве кинематической структуры наблюдается тонкая пространственная и временная слаженность, согласованность системы движений.

Динамические структуры

Динамическая структура – это закономерности силового (динамического) взаимодействия частей тела человека друг с другом и внешними телами (среда, опора, снаряды, партнеры, противники).

Изучая динамические характеристики движений, определяя приложенные силы, инерционные сопротивления, исследуют причины той или иной картины движений. По динамическим характеристикам устанавливают динамическую структуру.

Определяя массы тел и их распределение (инерционные характеристики), а также меры взаимодействия тел (силы и моменты сил), можно исследовать силовые взаимодействия. Это значит, что можно определить источники сил, их величину, направление, место приложения, меру (импульс силы и работу) и результат их действия.

Когда рассматривают совместное приложение ряда сил к звеньям тела, оценивают их взаимное влияние, эффект совместного воздействия, то определяют **силовую** структуру. При изучении мышечных сил, их совместного действия, сложных отношений, возникающих внутри групп мышц и между их группами, определяют **анатомическую** структуру.

Высокое совершенство динамической структуры проявляется в своевременных и достаточных силовых воздействиях, что чаще всего можно заметить по внешней картине движений.

Информационные структуры

Информационная структура – это закономерности взаимосвязей между элементами информации (упорядоченными во времени и пространстве сообщениями), несущими как сведения о движениях и условиях действия, так и команды о подготовке к действию и его осуществлению.

В управлении движениями важнейшую роль играют информационные процессы. В мозг поступают сигналы от органов чувств, к мышцам следуют команды из мозга – все это потоки информации. Они вызваны многими внешними и внутренними раздражителями, в том числе кинематическими и динамическими факторами. Все потоки информации, взаимодействуя, сочетаются закономерно, образуя сложнейшую информационную структуру движений.

Кинематические и динамические структуры сами имеют определенное информационное значение и связаны между собой соответствующими информационными структурами.

В информационной структуре выделяют **сенсорные** структуры – синтеза чувствительных сигналов, переработанные и обобщенные. Они отражают воздействия внешних факторов и внутреннего состояния организма.

Все воздействия, отражаясь в сознании человека, сочетаются со следами в его памяти. Так образуется **психологическая структура двигательного навыка**. В нее входят знания и представления о собственной технике, технике других спортсменов, общих требованиях к ней и т. п.

Команды, которые мозг направляет мышцам и другим органам, обеспечивающим выполнение движений, составляют **эффекторную** структуру. Она во многом зависит от соотношения произвольного и автоматического управления в системе движений.

Обобщенные структуры

Обобщенные структуры – это закономерности взаимосвязей изучаемых сторон действия; их выделяют условно при изучении общей структуры системы движений.

Наиболее часто при изучении структуры движений используют исследование ритмической, фазовой и координационной структур, выделяемых для более целенаправленного выявления сторон двигательного действия.

Ритмическая структура – это закономерности **временных отношений движений**. В ней раскрывается порядок следования фаз, соотношение их длительностей, расположение во времени силовых акцентов, время и длительность приложения сил, слияние ритмов подсистем в единый ритм системы и др. Ритмическая структура может использоваться в качестве **ориентира** при овладении системой движений. Для квалифицированных спортсменов служит **показателем их технического мастерства**.

Фазовая структура – это закономерности **взаимодействий фаз**, определяющие целостность системы. Изменение фазовой структуры обеспечивает совершенствование системы движений благодаря более точному согласованию всех кинематических и динамических характеристик. В фазовой структуре особенно существенно значение всех деталей движений для общего эффекта действия.

Координационная структура включает в себя все перечисленные виды структуры движений, внутренние взаимосвязи системы, а также всю внешнюю структуру – совокупность взаимодействий спортсмена с внешним окружением.

Совместное действие сил, внутренних и внешних, лежит в основе организации взаимодействия человека с внешним окружением. Он управляет этим взаимодействием, создавая единство внутренней и внешней структуры – координационную структуру. Изучая движения без учета их структурных связей, невозможно понять действительную организацию двигательного действия.

Физическое упражнение как управляемая система

Одно из основных отличий движений живых организмов от движений неживых тел заключается в самоуправлении. Управление в сложных системах изучает кибернетика – наука о строении управляющих и управляемых систем и процессах управления в них.

Понятие об управлении

Изучение системы движений человека с точки зрения управления включает определение состава и структуры системы, ее состояния, поведения и определение управления системой.

Состояние системы описывается значениями ее характеристик, наблюдаемых в тот или иной момент времени. **Поведение системы** проявляется в смене ее состояний, изменении характеристик (переход системы из исходного состояния в конечное).

Управление системой – это процесс перевода системы в новое, заранее заданное состояние (достижение цели), определение ее поведения путем направленного воздействия, изменяющего ее характеристики.

Систему движений человека изучают с точки зрения управления обычно в такой последовательности:

- из каких составных частей она состоит и как они объединены (состав и структура системы);
- каковы характеристики ее движений (состояние системы);
- как выполняется процесс движения по данным регистрации характеристик (поведение системы);
- какие воздействия и каким путем приводят к достижению цели (управление системой).

Рассмотрим структурную схему управления. В простейшем случае имеется управляемая подсистема (объект управления – О. У.), управляющая подсистема (аппарат управления – А. У.) и среда, в которой действует управляемая подсистема при достижении цели. Управляемая подсистема имеет «вход», через который в нее поступает управляющее воздействие (команда), и «выход», через который проявляется ее поведение как смена состояния. Связь может быть только в одном направле-

нии – *прямая*. Это схема **разомкнутого** контура связи. Такая система не имеет сведений о среде и не получает данных о результатах действия. Вследствие своей «слепоты» и «глухоты» она малоэффективна в сложных переменных условиях.

В более сложной системе с **замкнутым контуром** связи есть каналы *обратной связи*. По ним поступают сведения о предварительном состоянии и среды, и управляемой подсистемы, а также о результате действия.

Самоуправляемая система включает в себя две подсистемы: **управляемую** (О. У.), выполняющую задачу, и **управляющую** (А. У.), подающую команды, а также два канала обратной связи: внешней (от среды к системе) и внутренней (между подсистемами). Обратные связи превращают каналы **связи в** замкнутые кольца; внешнее кольцо замыкается через среду.

Различают обратные связи:

- а) **положительные** – они усиливают эффект действия системы, подтверждают целенаправленность ее действия, побуждают вести линию поведения дальше;
- б) **отрицательные** – они направлены на снижение эффекта настоящего действия системы, так как сигнализируют **об отходе от** необходимой линии поведения.

Для целесообразного управления бывает необходимо и усиливать, и снижать эффект действия. И тот и другой виды обратной связи могут осуществляться через одни и те же каналы.

Движения спортсмена направлены на изменение условий внешнего окружения и на изменение положения собственного тела в окружающей среде. Однако спортсмен вступает во взаимодействие не со всей средой, а с ее частью – *полем действия*.

Часть поля действия, которое спортсмен изменяет физически, – это *моторное поле*. Оно физически (механически) противодействует его движениям (полезные и вредные сопротивления). Одна из частей поля действия – *сенсорное поле* – источник внешней информации, воспринимаемой органами чувств спортсмена. Можно и нужно уметь изменять свое поле действия – то расширять его, то суживать – как в моторной, так и в сенсорной частях.

Исследуя движения человека, Н.А. Бернштейн впервые описал циклы (кольца) взаимодействия:

- а) **периферический** цикл (внешние и реактивные внутренние силы действуют на движущиеся звенья; движение последних изменяет сами названные силы);

б) **центральный** цикл (сигналы от движущихся звеньев воздействуют на мозг; мозг посылает команды, изменяющие движения звеньев).

В периферическом цикле взаимодействия складывается единая динамическая структура при совместном действии сил внешних и внутренних. Во внутреннем цикле взаимодействия преодолеваются огромные сложности управления в биомеханической системе.

Н.А. Бернштейн считал, что «движение возможно лишь при условии тончайшего и непрерывного, не предусмотримого заранее согласования центральных импульсов с явлениями, происходящими на периферии тела» (Бернштейн, 1966).

Информация и ее передача

Информация в системе движений – это сообщения о состоянии и изменениях среды и организма, а также команды к объекту управления. Информация вносит определенность и упорядоченность, она воспринимается системой и используется для управления.

Информация – это не материя (не вещество и не поле), а ее свойство. Информация всегда имеет материального носителя; его изменение и есть *сигнал*, несущий информацию (рис. 39).

Информация поступает на вход системы (*прием информации*). Вход обладает способностью к восприятию сообщений путем реакции на них. Прием именно нужной информации происходит в результате сложных процессов поиска, сбора и отбора сигналов. Важно научиться быстро и точно получать только нужную информацию. Далее следует *переработка* информации (кодирование, перекодирование, декодирование), сопровождающаяся сложнейшим синтезом, обобщением потоков сведений, преобразованием их в команды. Движение информации завершается ее передачей на объект управления (его вход) и *выдачей* на выходе всей системы в форме действия спортсмена, направленного и на внешнее окружение, и на изменение состояния самого спортсмена. Одновременно информация направляется на *хранение* в запоминающее устройство («память системы»). Память в кибернетическом смысле – это сохранение любого следа воздействия в системе. Кратковременная память используется вскоре после поступления, долговременная хранится долго. Без хранения информации невозможно ничему научиться, невозможно совершенствование системы. *Извлечение* из памяти неизбежно при любом акте управления; оно помогает, исходя из накопленного опыта, найти лучшее решение задачи. Предварительная информация отражает состояние системы и ее окружения до рассматриваемого действия, обеспечивает подготовку к

нему. Текущая информация способствует целенаправленному управлению в течение действия.

Таким образом, в самоуправляемой системе осуществляется передача информации:

- а) непосредственная – прием, переработка, выдача;
- б) с задержкой – хранение в памяти и последующее извлечение из нее; участие памяти является одной из основ совершенствования упражнения.

Двигательная задача и программа действия

Двигательная задача – это обобщенные требования к двигательному действию, которые определяются характером предстоящего действия и общей последовательностью его этапов.

В каждом двигательном действии человека осуществляется определенная двигательная задача. Она может заключаться в достижении определенной конечной цели (забросить шайбу в ворота) либо в выполнении заданного процесса движения (выполнить комбинацию на гимнастическом коне). Решение двигательной задачи представляет собою цель управления движениями. Двигательная задача есть как бы образец того, чего еще нет («**модель потребного будущего**», по Н.А. Бернштейну).

Задача может быть поставлена извне и заранее (требования соревнований, задание тренера); она может возникнуть произвольно у самого спортсмена. Могут быть такие сочетания внешних и внутренних причин, которые вызывают изменение двигательной задачи или появление новой.

Всегда в ее формировании так или иначе участвует информация:

- а) о внешнем окружении, в котором надо выполнять задачу;
- б) состоянии спортсмена;
- в) прошлом опыте (информация, извлеченная из памяти).

Если задача отвечает на вопрос: «Чего следует достичь?», то нужно еще получить ответ на вопрос: «Как достичь?». Этот ответ является программой управления.

Программа управления – это состав и последовательность конкретных движений, необходимых для решения задачи (выполнения спортивно-технического действия).

Программа управления создается в результате тренировки (накопление информации) и может осуществляться только при соответствующих ей условиях. В понятие «программа» в кибернетике (по аналогии с искусственными устройствами) входят возможности поведения системы, заложенные, имеющиеся в ней самой. В этом смысле программа может быть в основном продиктована извне, продумана до деталей самим спортсменом, сформирована в двигательном аппарате и нервной

системе в процессе тренировки, найдена непосредственно в процессе выполнения двигательной задачи (рис. 40).



Рис. 39. Схема организации движений человека.

Программы создаются во множестве (общая и частные), но выполняются в тот или иной момент лишь те, которые включаются управляющими воздействиями (командами). Общая программа, активированная пусковой командой, определяет состав и последовательность исполнительных команд мышцам. Частные программы определяют множество частных процессов при управлении (восприятия и переработки информации; настройки на предстоящее действие; изменения возбудимости в каналах связи и т. п.). Различают также главную программу, отражающую

щую ведущую особенность предстоящего действия, и частные; главные программы формируются из множества частных.

К главным программам относят, например:

- 1) программу **подготовки** – предварительные изменения, необходимые для успеха действия как до его начала, так и перед каждой очередной фазой;
- 2) программу **выбора** – выбор в самом процессе действия варианта, наиболее пригодного в зависимости от текущей информации;
- 3) программу **слежения** – выявление отклонений от оптимальной в данных условиях программы;
- 4) программу **цели** – мобилизация подсистем, способствующих выполнению оптимальной программы при помехах, которые требуют перестройки движений;
- 5) программу **усиления** – аварийная мобилизация резервных возможностей ради достижения цели при использовании даже не лучшего варианта.

Сигналы обратной связи в ходе выполнения движения передают текущую информацию о решении задачи (достигнута ли цель) и о том, как выполняется программа управления.

Для выполнения задачи необходимо в процессе тренировки создавать множество программ, причем очень сложных и разнообразных.

Итак, управление движениями осуществляется благодаря передаче информации – устанавливается двигательная задача, выбираются необходимые, ранее выработанные программы и создаются новые, передаются команды мышцам, ведется контроль над ходом действия.

Управление движениями в переменных условиях

Физические упражнения как управляемые системы движений выполняются в переменных условиях. В этих условиях правильное выполнение движений требует сложной организации управления, обеспечивающей достижение цели, несмотря на возникающие препятствия.

Управляющие и сбивающие воздействия

Управляющие воздействия на движения способствуют достижению поставленной цели, ведут к ней; **сбивающие** воздействия препятствуют ее достижению.

Команды от аппарата управления по нервам передаются мышцам. Мышцы путем изменения своего напряжения вызывают и изменяют соответствующие движения – это **управляющие воздействия**. При наличии обратной связи в командах уже учтено действие других сил на управляемые звенья. Любая сила, если она обусловлена активностью

системы и способствует достижению цели, может быть использована также в качестве управляющего воздействия.

В движениях всегда возникают **сбивающие воздействия** (возмущения). Они действуют извне как чисто механически, так и в виде искаженной информации, мешающей решению задачи. Сбивающие воздействия в каналах связи представляют собой **помехи**, которые затрудняют правильную передачу информации. Они могут возникать также и внутри организма при утомлении, вследствие рассогласования сигналов, запаздывания информации и многих других причин. Часть из помех связана с состоянием организма, часть – с непосредственным выполнением движения.

Мышцы напрягаются не только в ответ на приложение к звеньям внешних для них сил. Немалую роль играют рефлекторные напряжения, возникающие в ответ на активность мышц отдаленных звеньев (при определенных положениях этих звеньев и их изменениях).

Например, движения пояса верхних конечностей оказывают управляющее воздействие на мышцы ног и туловища; изменяя положение лопаток, можно снять ошибки в движениях ног и туловища. Но неправильные положения лопаток могут вызвать и появление ошибок – управляющее воздействие сменится на сбивающее.

Таким образом, управляющие воздействия способствуют достижению цели посредством: рабочих напряжений мышц; использования с их помощью внешних и пассивных внутренних сил; управляющих движений отдаленных звеньев. Сбивающие воздействия препятствуют достижению цели. К ним относятся внешние механические силы; помехи в каналах связи; факторы, связанные с состоянием организма; рассогласование в управлении; помехи, вызванные движениями отдаленных звеньев.

Отклонения и коррекции

Для выполнения движений характерно возникновение отклонений (расхождение между реализуемой программой управления и фактическим выполнением движений), а также коррекций (устранение возникающих отклонений и их предупреждение).

Вследствие сбивающих воздействий всегда имеются некоторые *отклонения* в выполнении движений. Отклонения от программы при повторном выполнении движений одним лицом, разными лицами, в переменных условиях неизбежны. Абсолютно точного повторения движения не бывает. Значит, не бывает и точного выполнения программы. Отклонения как **разброс** характеристик наблюдаются и в кинематике, и в динамике.

По своему значению изменчивость может быть случайной (существенной и несущественной), приспособительной, компенсаторной.

Случайная изменчивость вызвана возмущениями, не предвиденными полностью. К **существенным** случайным отклонениям следует отнести те, которые служат помехами на пути к цели и снижают результат движения. **Несущественные** случайные отклонения не мешают достижению цели, они лежат в пределах допустимых отклонений, не снижают результата.

В ответ на существенные отклонения благодаря обратной связи вырабатываются команды для **коррекции**. Так называемые сенсорные коррекции наступают после отклонения как реакция на сигнал о нем. Хотя отклонение и может быть исправлено, оно уже произошло и причинило известный ущерб. Поэтому более ценны коррекции предварительные, которые предупреждают возникновение существенных отклонений.

Приспособительная изменчивость и есть способ предупреждения отклонений посредством предварительного изменения движения. Происходит подготовка к встрече с помехами, и отклонения не наступают. Здесь важно успеть подготовиться и точно дозировать необходимое изменение.

Однако само приспособление представляет уже какое-то изменение выполняемой программы. Это хотя и частичное, но все-таки тоже отклонение, и оно должно быть возмещено.

Компенсаторная изменчивость и есть возмещающие изменения. Они наступают одновременно с приспособительными, как бы уравновешивают их. В результате приспособительной изменчивости помеха не сможет вызвать отклонение; компенсаторные же изменения не позволят самим приспособительным стать помехами. По существу, приспособления и компенсации нужно рассматривать как предупредительные поправки (коррекции) в программе, а не только как исправления отклонений от программы, ошибок.

Таким образом, борьба со случайной существенной изменчивостью ведется посредством сенсорных коррекций, устраняющих возникшее отклонение. Предупреждающие коррекции (приспособление и его компенсация) не допускают появления отклонений.

Функциональная структура действия

Функциональная структура действия включает формирование двигательной задачи, программирование ее выполнения, управление выполнением движений, контроль над ними и коррекции в ходе движений.

В течение долгого времени господствовало упрощенное представление о двигательном действии: на внешний раздражитель (стимул) организм отвечает заранее выработанной реакцией; каков стимул – такова и реакция, связь между ними однозначная.

По современным представлениям для каждого действия формируется сложная **функциональная система** (П.К. Анохин) (рис. 40). В ней устанавливается **двигательная задача**, которую определяет текущая информация с использованием опыта прошлого. Далее, в соответствии с задачей и информацией о текущем состоянии определяется **программа**. И задача, и программа могут сложиться молниеносно в соревновательной борьбе, если спортсмен подготовлен к этому. Они могут формироваться в течение многолетнего процесса совершенствования технического мастерства. С точки зрения физиологии здесь используется формирование комплексов восприятий как афферентных синтезов (объединений сигналов, приносимых в центры).

На основе формирования задачи и программы начинается двигательное действие. Сигналы по каналам обратной связи несут информацию об условиях, ходе выполнения и результате движения. На их основе осуществляются **контроль** над движениями, внесение необходимых **коррекций** при отклонениях.

По Н.А. Бернштейну, контроль и коррекции ведутся на разных подчиненных друг другу уровнях мозга (*уровни построения движений*). П.К. Анохин выдвинул идею об **акцепторе действия**: аппарате для афферентного синтеза, который дает предсказание предстоящих результатов и обуславливает контроль на основе предвидения будущего по ходу прошедшего.

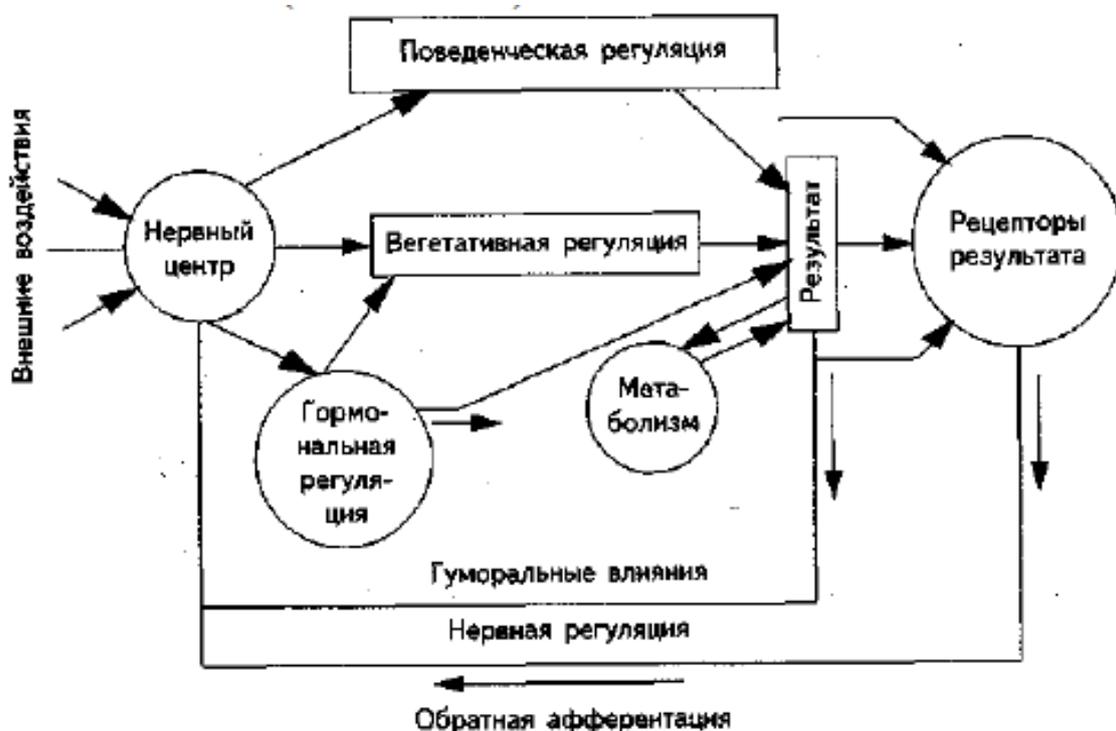


Рис. 40. Функциональная система (по П.К. Анохину)

Все элементы функциональной системы находятся в сложном взаимодействии: задача влияет на программу; программа – основа для контроля; контроль изменяет при необходимости программу. Одна и та же задача может быть решена с применением разных программ. Все эти структурные взаимодействия осуществляются при ведущей роли нервной системы по принципу рефлекса. Современная рефлекторная теория опирается на широкое понимание **системности и приспособительности**, которые И.П. Павлов называл динамической стереотипией.

Моделирование будущего представляет собою не точный, а вероятностный прогноз. Связь между воздействиями и поведением не может быть однозначной (действие статистических, вероятностных, законов). Поэтому одновременно осуществляется и **управление** как обеспечение поведения системы (достижение цели), и **регулирование**, понимаемое как борьба против возмущающих воздействий.

Управление определяет линию поведения; регулирование предупреждает и устраняет отклонения от нее. В процессе управления и регулирования могут изменяться, перестраиваться и сменяться программы. Это делает управление действием очень гибким, подвижным и чрезвычайно сложным.

Все движения выполняются в соответствии с законами механики, но то или иное выполнение их, выбор способа определяются законами не столько механики, сколько науки об управлении (кибернетики). Совершенствование (оптимизация) управления направлено на обеспечение наилучшего решения задачи.

Координация движений человека

Координация движений рассматривается в биомеханике как процесс согласования движений, приводящий к достижению цели. Исходя из современного понимания механизмов управления движениями, выделяют взаимосвязанные процессы согласования – нервную, мышечную и двигательную координации.

Нервная координация

Нервная координация – это согласование нервных процессов, приводящее в конкретных условиях к решению двигательной задачи посредством управления движениями через мышечные напряжения.

В движениях человека упорядоченность, сообщение им целесообразности начинается с управления, осуществляемого нервной системой. Поэтому определяющей стороной координации движений служит нервная координация.

Характерные черты нервной координации проявляются в ее **системности** (стереотипия) и **приспособительности** (динамичность).

Системная объединенность нервных процессов носит многоуровневый характер (субординация – сверху вниз; обратное влияние – снизу вверх). Кроме «вертикальных» связей огромное значение имеют и «горизонтальные» – в пределах данного уровня. Сформировавшиеся подсистемы управления надолго сохраняются в «памяти» нервной системы, проявляясь как набор накопленных двигательных навыков. **Приспособительность** характеризуется гибким изменением подсистем управления: это и способность к перестройке, совершенствованию, и прилаживание (адаптация) к конкретным условиям действия.

Приспособительность не исключает системности, а основывается на ней. Неприспосабливающаяся система – уже не стереотип, а «штамп» (по И.П. Павлову): она не способна эффективно действовать в переменной среде. Изучение нервной координации относится к области физиологии движений.

Мышечная координация

Мышечная координация – это согласование напряжений мышц, оказывающих воздействия на звенья тела как в соответствии с сигналами нервной системы, так и под действием приложенных сил (внешнее и внутреннее силовые поля).

Установлено, что напряжения мышц не зависят однозначно от нервных импульсов (команд управления). На напряжение мышцы оказывают влияние множество других факторов, в первую очередь степень деформации мышцы. Поэтому, хотя мышца и служит передаточным этапом информации от мозга к звену (от аппарата управления к объекту управления), мышечная координация не однозначна нервной.

Наиболее характерной чертой мышечной координации служит групповое взаимодействие мышц.

В результате овладения движениями складываются мышечные **синергии** – более или менее постоянные взаимодействия групп мышц, т. е. подсистемы общей системы взаимодействия мышц. Системная приспособительность в мышечной координации зависит как от таких же свойств в нервной координации, так и от чисто механических взаимодействий групп синергистов и антагонистов. На мышечную координацию существенно влияет наличие многоосных суставов (смена функций мышц) и многосуставных мышц (сочетанное действие на соседние суставы). Крайне важна внутримышечная координация – согласование тяги элементов мышцы (мионов), от которого зависит сила тяги каждой мышцы.

Двигательная координация

Двигательная координация – это согласование движений звеньев тела в пространстве и во времени (одновременное и последовательное), соответствующее выполняемой двигательной задаче в конкретных условиях (внешнее окружение и состояние спортсмена).

Двигательная координация не однозначна нервной и мышечной, хотя и зависит от них.

Координация может осуществляться в отдельные фазы непосредственно в **периферическом цикле** взаимодействия в самих органах движения, без детализированного участия центральных команд (замыкание через среду–поле действия спортсмена). Координация осуществляется и **на мышечном уровне** в группах синергистов, во взаимодействиях с группами антагонистов, в мышечных цепях с участием многосуставных мышц. Координация в самом главном осуществляется посредством преобразования информации в нервной системе по **рефлекторному принципу**.

Задача и программа в переменных условиях часто не могут быть предопределены заранее. Тогда в процессе координации осуществляется иногда не только выполнение заранее намеченного, но и поиск и выполнение поэтапных решений задачи и построения программы.

Формирование систем движений

Овладение физическим упражнением с точки зрения биомеханики представляет собою формирование новой системы движений. Этот процесс включает первоначальное построение системы движений (овладение движениями) и дальнейшую перестройку ее (совершенствование движений).

Построение системы движений

Построение новой системы движений происходит на основе:

- а) использования ранее сформированных подсистем;
- б) подавления старых подсистем, непригодных для решения новой задачи;
- в) формирования совершенно новых подсистем;
- г) установления структуры новой системы движений.

Человек обладает сравнительно небольшим количеством врожденных безусловных двигательных рефлексов: например, на растяжение мышца отвечает напряжением, на болевое раздражение конечность отвечает сгибанием. По мере созревания нервной системы и накопления двигательного опыта на эту основу постепенно наслаиваются условно-рефлекторные связи, обеспечивающие стояние, ходьбу и многие другие системы движений.

Возникновение новой системы означает образование новых взаимодействий, объединяющих частные движения в новую систему, соответствующую новой задаче и условиям действия. Человек использует **подсистемы движений**, сформированные ранее для решения других задач, **приспосабливая** их к новой задаче. Одновременно **подавляются** (тормозятся) другие ранее сформированные подсистемы, которые **не могут быть использованы**, так как мешают выполнению новой задачи. Кроме того, **формируются совершенно новые подсистемы движений**, необходимые именно для решения новой двигательной задачи. При построении новой системы движений сочетаются все перечисленные процессы, что приводит к **возникновению новых взаимодействий** как внутренних, так и особенно взаимодействий с внешним окружением. При объединении всех частных структур подсистем движений возникают большие трудности. Они зависят от различий в характере подсистем движений, обусловленных их происхождением. От этих различий зависят взаимная совместимость подсистем, быстрота согласования, устойчивость к помехам, возможности осознаваемого контроля над ними и др.

Перестройка системы движений

Перестройка систем движений обусловлена всеми видами двигательной деятельности, в особенности целенаправленным физическим воспитанием, а также возрастным физическим развитием; с изменениями в двигательном и управляющем аппаратах перестраиваются и системы движений.

Становление новых систем движений представляет собой перестройку функциональных отношений в организме. Совершенствование двигательной деятельности также целиком построено на перестройке координационных отношений.

Под воздействием физического воспитания повышается уровень физического развития, что проявляется и в морфологических особенностях, и в функциональных возможностях. В результате тренировочной работы реализуются возможности воспитания двигательных задатков.

Доказано, что способности организма к морфологической и функциональной перестройкам зависят от возраста. При правильном физическом воспитании для каждого возрастного периода характерны оптимальные сдвиги в обеспечении совершенства двигательной деятельности. Пути и средства перестройки координационных структур будут рассмотрены позже.

Контрольные вопросы

1. Что такое система движений? Ее состав и структура.
2. Как выделяют элементы движений в пространстве и во времени; как они объединены в подсистемы и целостную систему?
3. Каковы отличия видов структуры (кинематическая, динамическая)?
4. Что такое информационная структура двигательного действия?
5. Какова схема управления в двигательном действии человека?
6. Что такое прямая и обратная связи?
7. Что такое информация и каково ее значение в программировании движений?
8. Каково содержание двигательной задачи, программы и действия; как они формируются?
9. Каковы основные особенности управления движениями в переменных условиях?
10. Как изменяется система движений при становлении и совершенствовании спортивной техники?

ГЛАВА 9. МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- *Моделирование – один из методов научного познания.*
- *Построение биомеханической модели.*
- *Моделирование спортивной техники.*

Моделирование – один из методов научного познания

Как известно из практики общей педагогики, для того чтобы тот или иной процесс обучения был эффективным, его логика должна строго соответствовать логике изучаемого предмета, т. е. логика методов обучения движениям должна соответствовать логике их биомеханической структуры.

В том случае, когда количественная характеристика осваиваемого движения неизвестна или известна только частично, метод обучения должен быть направлен преимущественно на изучение его биомеханической модели.

Таким образом, моделирование спортивной техники используется в тренировочном процессе для решения двух основных задач: исследования движений и обучения им.

В современной научной литературе существует большое количество определений термина «моделирования». В наиболее широком смысле они сводятся к тому, что *моделирование – это исследование объектов познания, что предполагает построение и изучение моделей реально существующих предметов, процессов или явлений с целью получения объяснения этим явлениям, а также для предсказания явлений, интересующих исследователя.*

Использование метода моделирования позволяет при учете основных законов физики, механики, математики, физиологии, биологии и других наук объяснить функциональную структуру изучаемого процесса, выявить его связи с внешними объектами, оценить количественные характеристики.

Концепция разработки модели базируется на теории и количественной информации о моделируемом объекте или явлении (переменные величины, отдельные характеристики, взаимосвязи между ними и т. д.).

В зависимости от назначения модели, ее форма может быть различной:

- мысленные модели (например, рабочая гипотеза),
- математические модели,
- материальные или телесные модели.

Причем материальные модели могут быть представлены как в виде твердого тела (без возможности деформации), так и с возможностью изменения его отдельных сегментов (деформируемые).

Процесс создания модели включает в себя четыре основных действия:

- формулировка проблемы,
- разработка модели,
- проверка,
- имитация.

Кроме того, при разработке необходимо определить концепцию и форму модели.

Каждая модель должна удовлетворять метрологическим правилам надежности и достоверности. Надежность отражает способность модели давать сходную информацию вне зависимости от того, кто этой моделью пользуется. Достоверность модели заключается в ее способности отражать исследуемый процесс.

С появлением и постоянным совершенствованием возможностей видеокомпьютерных систем решение подобных вопросов не только ускорилося, но и позволило получать более точную информацию, в том числе в режиме реального времени. Неизменной осталась необходимость представления самой модели.

Для моделей техники каждого вида спорта характерны свои критерии подобия. Например, в видах спорта с циклической структурой движений при моделировании обязательным является использование биоэнергетических показателей, позволяющих перенести с оригинала изучаемых двигательных действий на их модели те же законы взаимосвязи внешней и внутренней энергии движений. Для моделей техники видов спорта со сложнокоординационной структурой движений в качестве таких критериев могут быть использованы различные биомеханические показатели. Как отмечает автор, наиболее достоверную информацию о спортивной технике можно получить, исследуя модели, построенные на использовании критериев подобия, основанных на принципах гомоморфизма и изоморфизма гравитационных взаимодействий моделей и оригиналов двигательных действий.

Поскольку модели техники носят строго моноцелевой характер, для их реализации в тренировочном процессе следует использовать программно-целевой метод и целевые педагогические программы.

Создание биомеханических моделей основывается на двух типах информации: теоретических знаниях об изучаемом двигательном действии и экспериментальных данных, полученных оптическими, оптико-электронными и механо-электрическими методами.

Построение биомеханической модели

В биомеханике биологические системы рассматриваются как материальные объекты и для анализа их положения в пространстве при движении моделируются в виде материальной точки или системы материальных точек.

При моделировании двигательного аппарата человека необходимо учитывать, что локомоторный аппарат состоит из трех систем: скелетной, мышечной и нервной. Эти системы анатомически и функционально объединены друг с другом.

В распространенных моделях биомеханические системы представляют взаимосвязанными между собой сегментами (звеньями), а движение систем и их звеньев изучают, принимая их абсолютно твердыми стержнями разной формы. Отдельные составляющие (сегменты) биологических тел, соединенные в суставах, можно рассматривать как абсолютно твердые тела и при движении считать недеформируемыми или неизменяемыми, если в исследовании можно пренебречь изменчивостью их размеров.

В связи с анатомическими особенностями строения тела человека антропоморфная модель может быть представлена тремя видами моделей, анатомическая основа которых следующая:

- а) кости и суставы;
- б) мышцы, сухожилия, кости, суставы и связки;
- в) нервная система, мышцы, кости, суставы и связки.

Прежде чем моделировать такую сложную систему, как тело человека, необходимо определить цель моделирования и исходя из нее выбрать модель. Структура модели предполагает задание числа звеньев, тип суставов и т. п.

Наиболее часто используют *11-звенную плоскую модель*. Подобная модель с высокой точностью описывает такие локомоции, как ходьба, легкоатлетический бег, бег на коньках. Исследование с помощью плоской многозвенной модели осуществляется как в виде прямой, так и в виде обратной задач механики.

При решении как прямой, так и обратной задач механики предположения, лежащие в основе построения модели тела человека, следующие: сегменты тела (включая туловище) абсолютно твердые; все суставы идеальные; длины суставов, положения центров масс известны; определены линейная и угловая кинематика звеньев тела; силы реакции приложены в центрах вращения; массы инерции звеньев тела известны; силы сопротивления внешней среды известны.

При значительном многообразии способов моделирования спортивной техники одним из наиболее часто используемых на практике является метод сравнительного биомеханического анализа движений спортсменов различной квалификации. Данный подход к моделированию предполагает использование так называемых дискриминативных признаков, то есть таких, которые закономерно изменяются с ростом спортивного мастерства и отличаются у спортсменов различной квалификации.

Для выявления дискриминативных признаков техники исследуемого двигательного действия применяется корреляционный анализ, при котором определяется зависимость полученных биомеханических показателей, как правило, от одной характеристики спортивной техники, имеющей прямую связь со спортивным результатом, например результирующая внутрицикловая скорость ОЦМ тела спортсмена в беговых дисциплинах легкой атлетики. Выявление дискриминативных признаков неразрывно связано с разработкой статистической модели, то есть представление модельных значений для конкретной биомеханической характеристики в исследуемый момент времени. После получения последней проводится сравнительный биомеханический анализ техники спортсменов различной квалификации, причем выявленные модельные значения выступают в качестве ориентира для квалифицированных спортсменов.

Данный подход был реализован на примере техники бегового шага на прямой в шорт-треке. В результате биомеханического видеокомпьютерного анализа было получено 137 характеристик. Использование корреляционного анализа позволило выявить шесть показателей, имевших статистически достоверную взаимосвязь с показателем результирующей скоростью ОЦМ тела спортсменов с сагиттальной плоскости.

С целью расширения представлений о том, какие биомеханические характеристики техники оказывают влияние на представленные модельные, был проведен дополнительный корреляционный анализ, который позволил выявить дополнительные статистически достоверные взаимосвязи между исследуемыми показателями (рис. 41).

Проведенный корреляционный анализ между исследуемыми биомеханическими характеристиками и результирующей скоростью ОЦМ тела шорт-трековиков высокой квалификации в сагиттальной плоскости позволил выделить шесть показателей и разработать статистическую модель техники бега по прямой в шорт-треке (рис. 42).

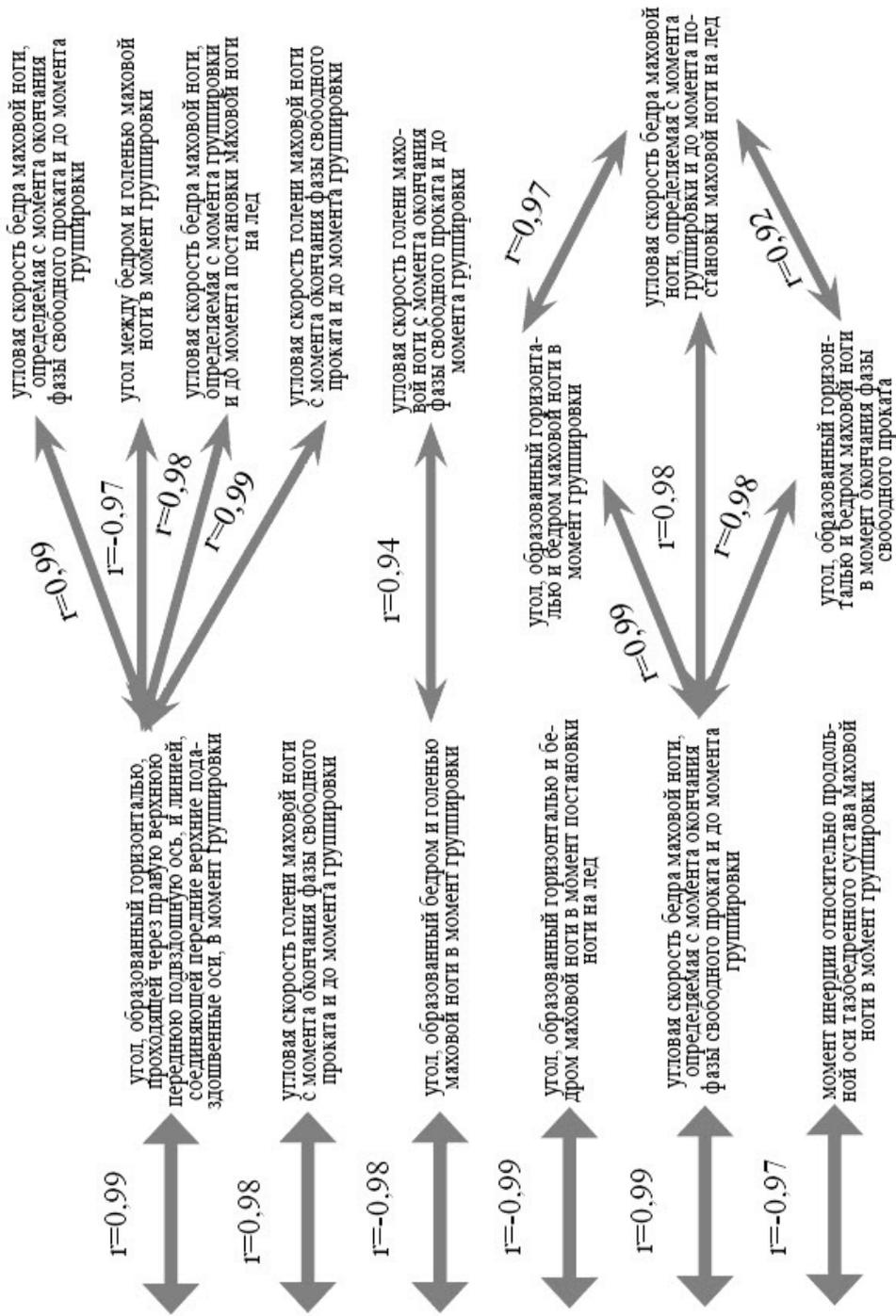


Рис. 41. Блок-схема взаимосвязей между биомеханическими показателями техники бега по прямой в шорт-треке

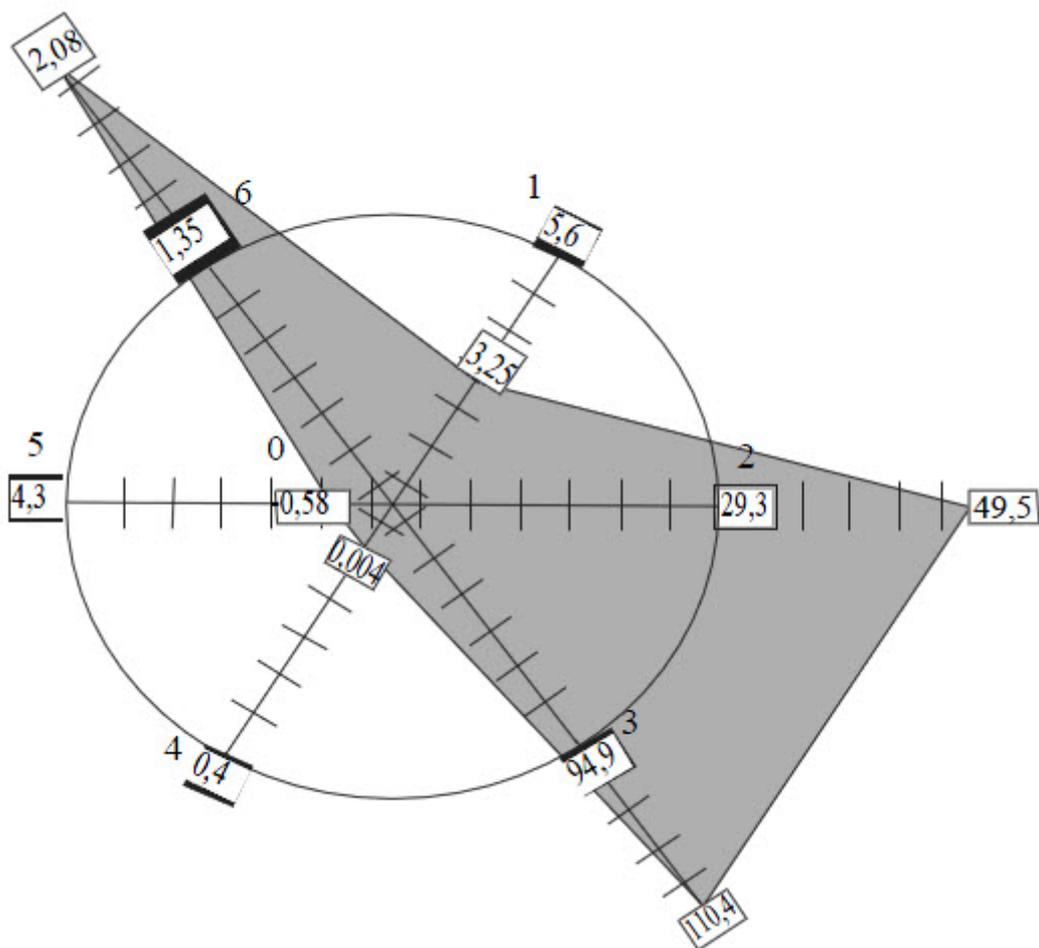


Рис. 42. Статистическая модель техники бега по прямой:

1 – угловая скорость бедра маховой ноги с момента окончания фазы свободного проката и до момента группировки, рад/с^{-1} ; 2 – угол, образованный горизонталью и бедром маховой ноги в момент постановки маховой ноги на лед, град; 3 – угол, образованный бедром и голенью маховой ноги в момент группировки, град; 4 – угловая скорость голени маховой ноги с момента окончания фазы свободного проката и до момента группировки, рад/с^{-1} ; 5 – угол (во фронтальной плоскости), образованный горизонталью, проходящей через верхнюю переднюю правую подвздошную ось, и линией, соединяющей верхние передние подвздошные оси в момент группировки, град; б – момент инерции относительно продольной оси тазобедренного сустава маховой ноги в момент группировки, кг/м^2 ; ■ – модельные показатели; □ – показатели квалифицированных шорт-трековиков.

Моделирование спортивной техники

На примере отдельных видов спорта рассмотрим различные виды моделирования спортивной техники.

Пятизвенная модель тела человека

Одной из особенностей данной модели является то, что стопа моделируется только для определения моментов сил реакции опоры, а

масса самой стопы не учитывается. Для каждого биоузла (туловище, бедро, голень, плечо, предплечье) определяется его центр масс. Отмеченные биоузлы соединены подвижно. При осуществлении прыжковых движений в момент приземления костная система на несколько миллисекунд раньше, чем мягкие ткани человека, переносит торможение, что также было учтено при разработке данной модели (рис. 43).

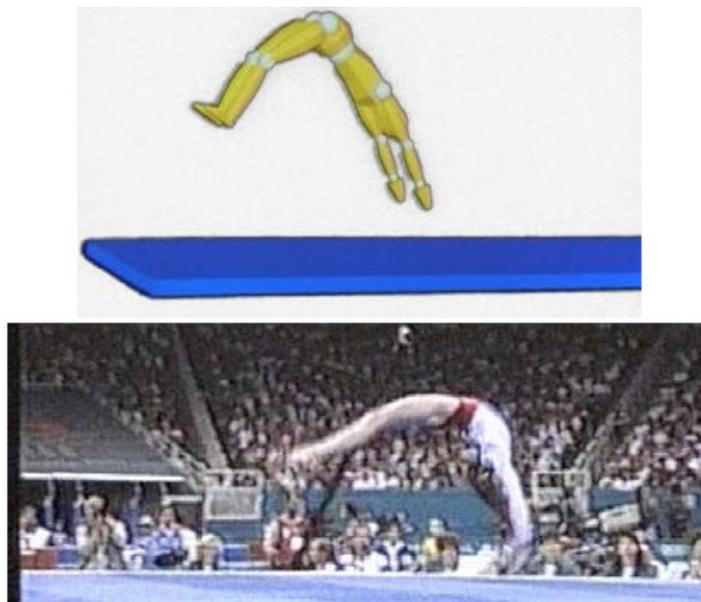


Рис. 43. Сопоставление модели с реальным выполнением двигательного действия гимнаста

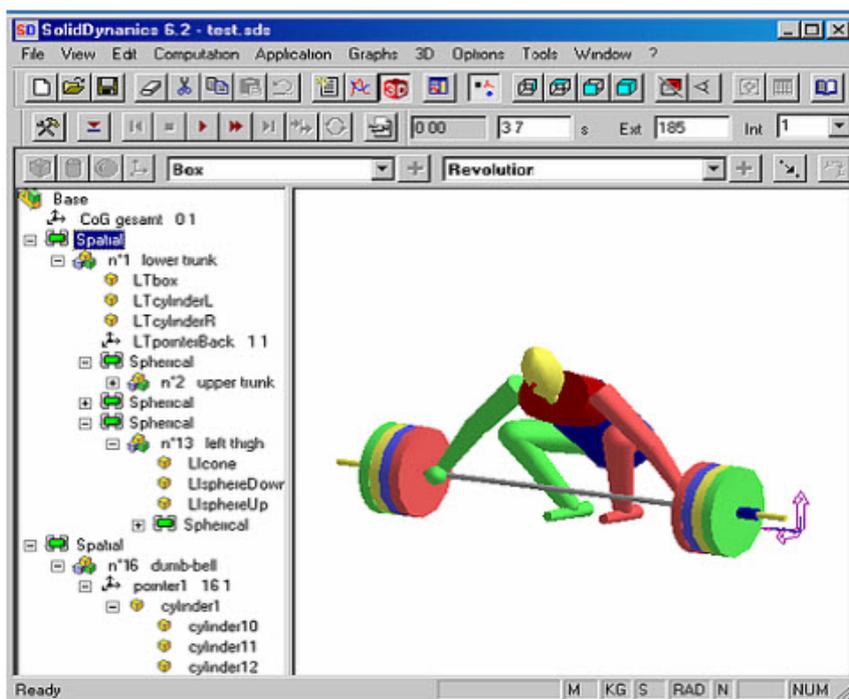


Рис. 44. Представление модели системы «спортсмен – гриф штанги»

Для определения внутренних сил, действующих на спортсмена в момент приземления, и для расчета самой модели использовали особый вариант прямой динамики. Данный вариант заключался в разработке и введении системы математических уравнений для определения моментов сил в суставах и реакции опоры. Точность получаемой информации определялась путем сравнения и многократного «приспособления» моделируемого движения с реальным выполнением двигательного действия.

Использование компьютерного моделирования в практике подготовки спортсменов, специализирующихся в тяжелой атлетике, является одним из перспективных путей повышения и совершенствования спортивной техники (рис. 44).

Техника исполнения каждого конкретного соревновательного упражнения индивидуальна. Она во многом определяется соотношением роста спортсмена и ряда антропометрических данных, а это значит, что такие важные биомеханические характеристики спортивной техники, как траектория общего центра масс тела и грифа штанги в сагиттальной плоскости, также будут индивидуальны. При выполнении разнообразных прыжковых элементов спортсмены переносят большие нагрузки, что в значительной степени сказывается на преждевременном износе межсуставных прослоек, одной из функций которых является снижение ударных нагрузок.

В этой связи определение возникающих внутренних нагрузок двигательного аппарата в момент приземления – одна из важных задач биомеханических исследований.

Контрольные вопросы

1. Понятие модели в научном исследовании.
2. Виды моделирования.
3. Этапы построения моделей.
4. Моделирование в спортивной биомеханике.
5. Выявление дискриминативных признаков.
6. Моделирование спортивной техники.
7. Пятизвенная модель тела человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бегун П.И., Шукейло Ю.А. Биомеханика: учеб. – СПб.: Политехника, 2000. – 463 с.
2. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. – М: Изд-во «Медицина», 1966. – 349 с.
3. Дубровский В.И. Биомеханика: учеб. пособие для вузов. – М.: Советский спорт, 2004. – 672 с.
4. Загrevский В.И., Загrevский О.И. Биомеханика физических упражнений: учеб. пособие. – Томск, 2007. – 274 с.
5. Попов Г.И. Биомеханика. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 256 с.
6. Ратов И.П., Попов Г.И. Влияние научного подхода Н.А. Бернштейна на методологию и направление развития спортивной экспериментальной биомеханики // Теория и практика физической культуры. – 1996. – № 11. – С. 53–56.
7. Селуянов В.Н. и др. Биомеханизмы как основа развития биомеханики движений человека (спорта) // Теория и практика физической культуры. – 1995. – № 7. – С. 6–10.
8. Чигарев А.В., Михасев Г.И. Биомеханика: учеб. пособие для вузов. – Минск: Технопринт, 2004. – 285 с.
9. Шалманов А.А. Биомеханика: учебник (Рекомендовано УМО) – М.: Физическая культура, 2005. – 325 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ПРЕДМЕТ, ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ БИОМЕХАНИКИ. НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ БИОМЕХАНИКИ КАК НАУКИ	4
Предмет биомеханики как науки о движениях человека	4
Механическое движение в живых системах	5
Содержание биомеханики спорта: ее теория и метод	7
Контрольные вопросы	15
ГЛАВА 2. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	16
Постановка задачи и выбор методик исследования	16
Понятие об измерительной системе (датчики, передача, преобразование, регистрация информации)	17
Экспериментальные методы определения биомеханических параметров (оптические и оптико-электронные, механоэлектрические, измерения временных интервалов, комплексные)	22
Расчетные методы изучения движений (определение координат, скоростей, ускорений, сил, моментов сил)	30
Контрольные вопросы	31
ГЛАВА 3. ДВИГАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ ЧЕЛОВЕКА, СОЕДИНЕНИЕ ЗВЕНЬЕВ И СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	32
Виды нагрузок и характер их действия	32
Биомеханические пары и цепи (незамкнутые, замкнутые, разветвленные)	35
«Золотое правило» механики в движениях человека	38
Трехзвенная модель человеческого тела	39
Контрольные вопросы	41
ГЛАВА 4. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАБОТЫ МЫШЕЧНОГО АППАРАТА	42
Биодинамика мышц. Механические свойства мышц	42
Механические, анатомические и физиологические условия тяги мышц	46
Групповые взаимодействия мышц	48
Перераспределение напряжений мышц	52
Контрольные вопросы	53
ГЛАВА 5. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА	54
Системы отсчета расстояния и времени	54
Пространственные характеристики	58
Временные характеристики	63
Пространственно-временные характеристики	65
Кинематические особенности движений человека	68
Контрольные вопросы	70

ГЛАВА 6. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА	71
Инерционные характеристики	71
Силовые характеристики	73
Внешние относительно системы силы	80
Внутренние относительно системы силы	91
Динамические особенности в движениях человека	92
Контрольные вопросы.....	95
ГЛАВА 7. ДВИГАТЕЛЬНЫЕ КАЧЕСТВА СПОРТСМЕНА, ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОЯВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЬНЫХ КАЧЕСТВ И БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИХ ВОСПИТАНИЮ.....	96
Понятие о двигательных качествах	96
Биомеханическая характеристика силы	97
Биомеханическая характеристика скоростных качеств.....	103
Биомеханическая характеристика гибкости	107
Биомеханическая характеристика выносливости	109
Контрольные вопросы.....	113
ГЛАВА 8. СТРУКТУРА ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА И УПРАВЛЕНИЕ ИМИ	115
Двигательное действие как система движений	115
Физическое упражнение как управляемая система	121
Двигательная задача и программа действия	124
Функциональная структура действия.....	128
Координация движений человека	130
Формирование систем движений.....	132
Контрольные вопросы.....	134
ГЛАВА 9. МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	135
Моделирование – один из методов научного познания	135
Построение биомеханической модели	137
Моделирование спортивной техники	140
Контрольные вопросы.....	142
ЛИТЕРАТУРА	143

Учебное издание

КАПИЛЕВИЧ Леонид Владимирович
АНДРЕЕВ Владимир Игоревич
КОШЕЛЬСКАЯ Елена Владимировна

БИОМЕХАНИКА ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

Учебное пособие

Редактор *С.Н. Карапотин*
Компьютерная верстка *Д.В. Сотникова*
Дизайн обложки *А.И. Сидоренко*

Подписано к печати 24.10.2012. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 8,49. Уч.-изд. л. 7,67.
Заказ 1186-12. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru