

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Витебский государственный
университет имени П.М. Машерова»
Кафедра теории и методики физической культуры
и спортивной медицины

БИОМЕХАНИКА

Курс лекций

*Витебск
ВГУ имени П.М. Машерова
2021*

УДК 796.01:612(075.8)

ББК 75.00я73

Б63

Печатается по решению научно-методического совета учреждения образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова». Протокол № 4 от 18.02.2021.

Составители: старший преподаватель кафедры теории и методики физической культуры и спортивной медицины ВГУ имени П.М. Машерова **Д.С. Борщ**; доцент кафедры спортивно-педагогических дисциплин ВГУ имени П.М. Машерова, кандидат педагогических наук **Г.Б. Шацкий**

Рецензент:

доцент кафедры теории и методики физической культуры и спортивной медицины ВГУ имени П.М. Машерова, кандидат педагогических наук *В.А. Талай*

Биомеханика : курс лекций / сост.: Д.С. Борщ, Г.Б. Шацкий. – **Б63** Витебск : ВГУ имени П.М. Машерова, 2021. – 63 с.
ISBN 978-985-517-797-6.

Данный курс лекций предназначен для студентов факультета физической культуры и спорта, обучающихся по специальностям «Физическая культура», «Спортивно-педагогическая деятельность» очной и заочной формы получения образования.

УДК 796.01:612(075.8)

ББК 75.00я73

ISBN 978-985-517-797-6

© ВГУ имени П.М. Машерова, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
<i>Лекция 1</i> Введение в биомеханику	5
<i>Лекция 2</i> Биомеханические характеристики тела человека и его движений	12
<i>Лекция 3</i> Методы исследования в биомеханике	19
<i>Лекция 4</i> Строение и функции биомеханической системы двигательного аппарата	27
<i>Лекция 5</i> Биодинамика двигательных действий	34
<i>Лекция 6</i> Биомеханика физических качеств	44
<i>Лекция 7</i> Индивидуальные и групповые особенности моторики (дифференцированная биомеханика)	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	61
ЛИТЕРАТУРА	62

ВВЕДЕНИЕ

Биомеханика человека изучает, какой способ и какие условия выполнения действий лучше и как овладеть ими. Общая задача изучения движений состоит в оценке эффективности приложения сил для достижения поставленной цели.

Основателем науки биомеханики считается Джованни Борелли, итальянский натуралист. Профессор университетов в Мессине (1649) и Пизе (1656) разрабатывал вопросы анатомии и физиологии с позиций математики и механики и показал, что движение конечностей и частей тела у человека и животных при поднятии тяжестей, ходьбе, беге, плавании можно объяснить принципами механики.

Создателем теоретической основы современной биомеханики – учения о двигательной деятельности человека и животных является Николай Александрович Бернштейн (1896–1966).

Биомеханика исследует, каким образом полученная механическая энергия движения и напряжения может приобрести рабочее применение. Рабочий эффект измеряется тем, как используется затраченная энергия. Для этого определяют, какие силы совершают полезную работу, каковы они по происхождению, когда и где приложены.

Общая биомеханика решает теоретические проблемы и помогает узнать, как и почему человек двигается. Дифференциальная биомеханика изучает индивидуальные и групповые особенности двигательных возможностей и двигательной деятельности. Изучаются особенности, зависящие от возраста, пола, состояния здоровья, уровня физической подготовленности, спортивной квалификации и т.п. Частная биомеханика рассматривает конкретные вопросы технической и тактической подготовки в отдельных видах спорта. Основной вопрос частной биомеханики – как научить человека правильно выполнять разнообразные движения или как самостоятельно освоить культуру движений.

Лекция 1

ВВЕДЕНИЕ В БИОМЕХАНИКУ

1. Предмет биомеханики как науки о движениях человека.
2. Механическое движение в живых системах.
3. Задачи изучения движений.
4. Содержание биомеханики спорта.
5. Развитие биомеханики спорта.
6. Современный этап развития биомеханики спорта.
7. Связь биомеханики с другими науками.

1. Предмет биомеханики как науки о движениях человека

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 (Ю.В. Верхошанский, 1988 г.). Несколько иначе выразил эту мысль В.Т. Назаров (1984 г.) – функции жизнедеятельности организма подчинены достижению поставленной двигательной цели, а сама цель является связующим фактором, объединяющим деятельность этих функций в систему.

2. 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).

Двигательная деятельность человека, а отчасти и животных, – одно из сложнейших явлений в мире. Вместе с тем двигательная деятельность человека отличается от двигательной деятельности животных своей осознанностью и целенаправленностью. Человек понимает смысл своей двигательной активности, может контролировать и планомерно совершенствовать свои движения. При помощи двигательной деятельности человек в процессе физического воспитания активно преобразует свою собственную природу, физически совершенствуется. Преобразование мира человеком выполняется также посредством двигательной деятельности (письмо, речь).

Двигательная деятельность человека складывается из его действий. Двигательные действия осуществляются при помощи произвольных активных движений, вызванных и управляемых работой мышц. Н.А. Бернштейн считал, что в норме человек производит не просто движения, а всегда действия.

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.

3. Задачи изучения движений

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 их эффективности. Таким образом, в ходе решения частных задач биомеханики спорта получают ответы на вопросы – кого, чему и как учить?

4. Содержание биомеханики спорта

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» (Н.А. Бернштейн, 1940 г.).

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.

Метод биомеханики в наиболее общем виде имеет в своей основе системный анализ и системный синтез действий с использованием количественных характеристик, в частности моделирование 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 отличать метод биомеханики как принципиальный путь познания сложных систем движений от частных методик биомеханического исследования (то есть методик регистрации и обработки экспериментальных данных).

5. Развитие биомеханики спорта

Биомеханика, изучающая механику движений живых организмов с учетом их анатомо-физиологических особенностей, развивалась вместе с развитием 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 Борели (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). Хотя в современном виде законы статики были изложены значительно позже французским геометром Пуансо (1777–1859).

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, вышла в свет в 1686 г. уже после смерти Борели.

Отсюда понятно, что исследования Борели, прежде всего, могли быть направлены на изучение статики человеческого тела. Им подробно были рассмотрены с точки зрения механики условия равновесия многосвязной 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, происходившие в результате отталкивания от опоры, подтягивания к ней, движения вызванные отталкиванием от жидкой или газообразной среды.

Свою научную деятельность выдающийся математик и механик Бернулли (1667–1748) 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 предложени-

ем 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» (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 наукой 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 сначала 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 выпускается 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 Д. Борели, 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 совершенно 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 (1837–1930), И.М. Сеченов (1829–1905), М.Ф. Иваницкий (1895–1969), 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.

6. Современный этап развития биомеханики спорта

Биомеханика спорта в нашей стране развилась из биомеханики физических упражнений, созданной П.Ф. Лесгафтом во второй половине 19 века в России. 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 элек-

трофизиологических 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, Персон, Коряк, Коми.

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 спорте, так как без изучения количественных показателей двигательной деятельности невозможно совершенствовать методику обучения и тренировки во многих видах спорта.

7. 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 сказывается 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 нервномышечных 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».

Лекция 2

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА И ЕГО ДВИЖЕНИЙ

1. Система отсчета расстояний.
2. Система отсчета времени.
3. Пространственные характеристики.
4. Временные характеристики.

5. Пространственно-временные характеристики.
6. Динамические характеристики.
7. Силовые характеристики.

1. Система отсчета расстояний

Исследование движений человека есть процесс регистрации биомеханических характеристик тела (размеры, пропорции, распределение масс, подвижность в суставах и др.), движений всего тела и его частей.

Биомеханические характеристики – это меры механического состояния биомеханической системы и его изменения (поведения системы).

При выполнении системного анализа движений (установлении состава системы движений) характеристики позволяют различать различные движения. При осуществлении системного синтеза (определении структуры системы движений) биомеханические характеристики дают возможность установить меру влияния одних движений на другие.

Количественные характеристики измеряются прямо (регистрируются), либо косвенно (рассчитываются). Качественные характеристики описываются словесно, без указания количественной меры (например, свободно, широко, медленно, плавно, стремительно и т.п.).

Система отсчета расстояний – условно выбранное твердое тело, по отношению к которому определяют положение других тел в различные моменты времени, а также направление отсчета, единицы отсчета, пункт (линия) отсчета. Абсолютно неподвижных тел не существует, все материальные объекты движутся. Но одни из них движутся так, что изменения их скорости (ускорения) несущественны и ими можно пренебречь – это инерциальные тела или инерциальные системы отсчета. Такими телами являются Земля и все объекты, связанные с ней неподвижно. Другие тела – неинерциальные – движутся с ускорениями, которые существенно влияют на решение биомеханической задачи.

С телом отсчета связывают начало и направление измерения расстояния и устанавливают единицы отсчета. Система отсчета расстояний включает в себя также пункт отсчета (точка на исследуемом теле), либо линию отсчета (при вращательном движении). В некоторых случаях движущееся тело рассматривают как материальную точку.

Для описания (задания) движения применяются естественный, векторный, координатный способы. При естественном способе положение точки отсчитывают от начала отсчета, выбранного на заранее известной траектории (трасса, дорожка). При векторном способе положение точки определяют радиус-вектором, проведенном из центра «0» системы координат к движущейся точке. При координатном способе перемещение точки описывается (задается) изменением численных значений ее координат (численных значений проекции точки на координатные оси).

Различают линейные и угловые единицы измерения расстояния. Основная линейная единица 1 метр, угловая – радиан (угол между двумя радиусами круга, вырезающими на окружности дугу, равную радиусу), 1 радиан равен $180^\circ/\pi$, приблизительно 57° .

2. Система отсчета времени

В систему отсчета времени входят начало и единицы отсчета. В биомеханике за начало отсчета принимается момент начала движения или его части, либо момент начала наблюдения за движением. В течение одного наблюдения пользуются только одной системой отсчета времени. Единица отсчета времени – 1 секунда. Время движется от прошлого к будущему. Но в биомеханических исследованиях можно отсчитывать время в обратном направлении (например, за 0,5 с до постановки стопы на опору).

3. Пространственные характеристики

Пространственные характеристики позволяют определять положения (по координатам) и движения (по траекториям).

В зависимости от задач исследования тело человека рассматривают как материальную точку (перемещение значительно больше размеров тела); твердое тело (можно пренебречь деформацией и не учитывать перемещения звеньев); систему тел (важны особенности движений звеньев).

Координаты точки, тела, системы тел. *Координаты точки* – пространственная мера местоположения точки относительно системы отсчета. Положение твердого тела в пространстве можно определить по положению (координатам) трех его точек, не лежащих на одной прямой. Используют также координаты общего центра тяжести тела (ОЦТ) и угловые координаты относительно исходного положения (неподвижной системы отсчета) – Эйлера углы. Положение системы тел, которая может изменять свою конфигурацию, определяют по положению каждого звена в пространстве. В этом случае удобно использовать угловые координаты, например, суставные углы или углы поворота звеньев, и по ним устанавливать позу тела как взаимное расположение звеньев. При изучении движения определяют исходное положение, из которого движение начинается, конечное положение, в котором движение заканчивается, мгновенные (промежуточные) положения. Выделяют также начальное положение – положение в момент начала данного измерения.

Траектория точки – это геометрическое место положения движущейся точки в рассматриваемой системе отсчета. На траектории выделяют ее длину, кривизну и ориентацию в пространстве. Таким образом, траектория дает пространственный рисунок движения точки. Расстояние по траектории равно пути точки. Кривизна траектории показывает какова форма движения точки в пространстве. Кривизна траектории – величина обратная радиусу кривизны. Ориентация траектории в пространстве при одной и той же ее форме может быть разной.

Ориентацию прямолинейной траектории определяют по координатам точек исходного (начального) и конечного положений; ориентацию криволинейной траектории – по координатам этих двух и третьей точки, не лежащей с ними на одной прямой. Перемещение точки показывает в каком направлении и на какое расстояние сместилась точка, то есть перемещение определяет размах и направление движения. Линейное перемещение тела можно определить по линейному перемещению любой его точки, так как при этом все точки тела движутся одинаково – по подобным траекториям, с одинаковыми скоростями и ускорениями. Угловое перемещение тела определяют по углу поворота радиуса поворота. Следовательно, любое перемещение тела в пространстве можно представить, как геометрическую сумму его поступательного и вращательного движений.

Перемещение системы тел (биомеханической системы), изменяющей свою конфигурацию, определить весьма сложно. Поэтому его иногда рассматривают как движение ОЦТ, либо сводят несколько звеньев в одно. В настоящее время невозможно получить полную картину перемещений всех основных элементов тела, включая внутренние органы и жидкие ткани. В любом научном исследовании прибегают к более или менее значительному упрощению. Д.Д. Донской (1979) указывает, что в отличие от машин, характеризующихся определенностью движения (есть возможность определить положение любой точки системы в любой момент времени), в биомеханических системах, характеризующихся неопределенностью движений в сочленениях, вероятность найти закон движения всех звеньев тела в целом очень невелика. Эта вероятность несколько больше в тех упражнениях, где техническое мастерство проявляется в точном воспроизведении заранее определенных детализированных движений.

4. Временные характеристики

Временные характеристики раскрывают движение во времени. К ним относятся. Момент времени – когда началось и когда закончилось движение. Длительность движения – как долго оно длилось. Темп (частота) – как часто повторялось движение. Ритм – как соотносились части движения по длительности. Определяя положение точки в пространстве, необходимо определять и то, когда она там была.

Момент времени – временная мера положения точки, тела, системы тел. Момент времени определяют промежутком времени до него от начала отсчета. Выделяют не только момент начала и окончания движения, но и моменты существенно изменения движения – моменты смены фаз.

Длительность движения – это его временная мера, которая измеряется разностью моментов времени окончания и начала движения: $\Delta t = t_k - t_n$. Сами моменты, как границы между двумя смежными промежутками времени длительности не имеют.

Величина обратная длительности движения называется темп или частота движений. Она измеряется количеством движений, повторяющихся в единицу времени: $f = 1 / \Delta t$. Таким образом, частота движений – временная мера их повторности. Частота движений может служить показателем подготовленности в циклических видах спорта.

Ритм движений (временной) – это временная мера соотношения частей (фаз) движения. Он определяется по соотношению длительности частей движения: $\Delta t_{12} / \Delta t_{23} / \Delta t_{34} \dots$. Ритм величина безразмерная. Чтобы определить временной ритм движения выделяют фазы, то есть части двигательного действия, различающиеся по задаче движения, его направлению, скорости и другим характеристикам. Ритм связан с характером и проявлением усилий. поэтому по ритму можно в некоторой мере судить о степени совершенства движений. В ритме особенно важны акценты – размещение максимальных усилий во времени.

5. Пространственно-временные характеристики

По пространственно-временным характеристикам определяют, как изменяется положение и движение человека во времени, как быстро изменяет человек свои положения (скорости) и движения (ускорения).

Скорость точки – пространственно-временная мера движения точки (быстрота изменения ее положения). Она определяется отношением пути ко времени, за которое он был пройден: $V = DS / Dt$, а точнее по изменению координат во времени. Так как скорость движения человека чаще всего не постоянная, а переменная (движение неравномерное и криволинейное), для разбора упражнений определяют мгновенные скорости, то есть скорости в данный момент времени или в данной точке траектории – своего рода скорости равномерного движения на очень малом отрезке траектории.

Скорость величина векторная, то есть она характеризует – что, куда и как быстро движется. Линейная скорость точки в прямолинейном движении направлении по траектории, то есть вектор скорости совпадает с вектором перемещения. В криволинейном движении вектор скорости направлен по касательной к траектории в каждой рассматриваемой ее точке.

Скорость тела определяют по скорости его точек. При поступательном движении тела линейные скорости всех его точек одинаковы по величине и направлению. При вращательном движении определяют угловую скорость тела, как меру быстроты изменения его углового положения: $w = \Delta j / \Delta t = V / r$ (рад/с). Отсюда линейная скорость точки вращающегося тела равна произведению угловой скорости на радиус вращения этой точки. Из этого следует, что чем больше расстояние от точки тела до оси вращения, тем больше линейная скорость этой точки.

Скорости сложного движения твердого тела можно определить по линейной скорости любого полюса и угловой скорости вращения тела относительно этого полюса.

Для определения скорости системы тел, изменяющей свою конфигурацию, определяют линейную скорость ОЦТ этой системы, а также скорости (угловые и линейные) отдельных звеньев этой системы.

Ускорение точки – пространственно-временная мера изменения движения точки (быстрота изменения движения) – по величине и направлению скорости. Количественно ускорение определяется по изменению скорости точки во времени: $a = \Delta V / \Delta t = \Delta S / \Delta t^2$. ускорение – величина векторная, характеризующая быстроту изменения скорости по ее величине и направлению в данный момент (мгновенное ускорение). В случае криволинейного движения вектор ускорения можно разложить на составляющие: а) касательное (тангенциальное) ускорение, направленное вдоль касательной к траектории в данной точке: $a = \Delta V / \Delta t = r \cdot \epsilon$; б) нормальное ускорение, направленное внутрь кривизны перпендикулярно к вектору скорости: $a_n = V^2 / r = \omega^2 \cdot r$. Касательное ускорение будет положительным, если скорость точки растет и отрицательным, когда скорость уменьшается. Линейному ускорению в поступательном движении соответствует угловое ускорение во вращательном движении.

Угловое ускорение тела определяется как мера изменения быстроты его угловой скорости: $\epsilon = D\omega / Dt = \Delta j / \Delta t$. Линейное и угловое ускорения точки связаны, как и скорости точки: $\epsilon = a / r$. И наоборот, $a = \epsilon \cdot r$.

Ускорение служит хорошим показателем качества (то есть величины и своевременности) приложенных усилий. Одновременно наиболее авторитетные источники говорят, что ускорение системы тел, изменяющей свою конфигурацию, определяется еще сложнее, чем скорость.

6. Динамические характеристики

Если изучение кинематики дает ответ на вопрос «как движется точка, тело, система тел?», то для изучения (раскрытия механизма) движений – выяснения причины их возникновения и хода изменения – исследуют динамические характеристики. К ним относятся: инерционные характеристики, то есть особенности тела человека и движимых им тел; силовые характеристики – или особенности взаимодействия звеньев тела и других тел; энергетические характеристики – состояния и изменения работоспособности биомеханической системы.

Инерционные характеристики. **Инерция** – свойство тел сохранять скорость неизменной при отсутствии внешних воздействий. Сама инерция не имеет меры (измерителя). Но под действие сил разные тела изменяют свою скорость по-разному. Это их свойство (инертность) – имеет меру.

Инертность – свойство физических тел, появляющееся в постепенном изменении скорости с течением времени под действием сил.

Масса тела – мера инертности тела при поступательном движении. Она измеряется отношением приложенной силы к вызванному ею ускорению: $F = m \cdot a$. В абсолютно твердом теле есть три точки, положение которых совпадает – центр масс (ЦМ), центр инерции (ЦИ) и центр тяжести (ЦТ). Но это не тождественные понятия. В ЦМ пересекаются направления действия сил, любая из которых вызывает поступательное движение тела. Понятия ЦИ (точка приложения всех фиктивных сил инерции) и ЦТ (точка приложения равнодействующей всех сил тяжести) будут рассмотрены ниже.

Для вращательного движения понятию массы соответствует представление о моменте инерции. **Момент инерции твердого тела (собственный или центральный)** – это мера инертности тела при вращательном движении. Он определяется как сумма моментов инерции всех входящих в него частиц: $I_0 = \sum m \cdot r^2$, где r – радиус инерции точки (расстояние от точки до оси вращения). Если ось вращения не проходит через ЦМ тела или вообще не связана с телом, то момент инерции относительно этой оси (полный момент инерции тела) можно представить состоящим из двух слагаемых. А именно, центрального момента инерции тела относительно оси, проходящей через ЦМ и парал-

лельной этой внешней оси, и произведения массы тела на квадрат расстояния между этими осями: $I = I_0 + m \cdot r^2$.

Центральный момент инерции системы тел состоит из суммы центральных моментов инерции звеньев системы и суммы моментов инерции этих звеньев относительно ЦМ системы: $I_{0s} = \sum I_0 + \sum m \cdot r^2$. Полный момент инерции системы тел складывается из ее центрального момента инерции относительно оси, проходящей через ее ЦМ и параллельной этой внешней оси, и произведения массы тела на квадрат расстояния между этими осями: $I_{ps} = I_{0s} + m \cdot r^2$.

7. Силовые характеристики

Движение тела может происходить как под действием приложенной к нему силы, так и без нее (по инерции), когда приложена только тормозящая сила. Движущие силы действуют не всегда, но без тормозящих сил движения не бывает. Сила не причина самого движения, а причина его изменения.

Сила – это мера механического воздействия одного тела на другое. Она численно равна произведению массы тела на ускорение, вызванное этой силой: $F = ma$. Хотя чаще всего речь идет о силах и результатах их действия, это применимо только к поступательному движению тела и его звеньев. Тело человека представляет собой систему тел, все движения которой – вращательные. Изменение вращательного движения определяется моментом силы.

Момент силы – это мера вращательного действия силы на тело. Он определяется произведением модуля силы на ее плечо: $M_z = F \cdot l = I \cdot \epsilon$. Момент силы считается положительным, если он вызывает поворот тела против часовой стрелки и наоборот. **Момент силы** – величина векторная: сила проявляет свое вращательное действие, когда она приложена на ее плече. Если линия действия силы лежит не в плоскости перпендикулярной к оси вращения, то находят составляющую силу, лежащую в этой плоскости. Она и вызывает вращение, остальные силы на вращение не влияют. Сила, совпадающая с осью вращения или параллельная ей, также не имеет плеча относительно оси, значит нет и ее момента.

Силу, не проходящую через точку в твердом теле можно привести к этой точке. Тогда видно, что такая сила вызывает не только угловое, но и линейное ускорение тела.

Определение силы или момента силы, если известна масса или момент инерции тела позволяет узнать только ускорение, то есть, как быстро изменится скорость. Насколько изменилась скорость можно узнать, определив импульс силы. Импульс силы – мера воздействия силы на тело за данный промежуток времени (в поступательном движении): $S = F \cdot Dt = m \cdot Dv$. В случае одновременного действия нескольких сил сумма их импульсов равна импульсу их равнодействующей за то же время. Именно импульс силы определяет изменение скорости. Во вращательном движении импульсу силы соответствует импульс момента силы – мера воздействия силы на тело относительно данной оси за данный промежуток времени: $S_z = M_z \cdot Dt$.

Вследствие импульса силы и импульса момента силы возникают изменения движения, зависящие от инерционных характеристик тела и проявляющиеся в изменениях скорости (количество движения и момент количества движения – кинетический момент).

Количество движения – это мера поступательного движения тела, характеризующая способность этого движения передаваться другому телу: $K = m \cdot v$. Изменение количества движения равно импульсу силы: $DK = F \cdot Dt = m \cdot Dv = S$.

Кинетический момент – это мера вращательного движения тела, характеризующая способность этого движения передаваться другому телу: $K_\omega = I \cdot \omega = m \cdot v \cdot r$. Если тело связано с осью вращения, не проходящей через его ЦМ, то полный кинетический

момент складывается из кинетического момента тела относительно оси, проходящей через его ЦМ параллельно внешней оси ($I_0 \cdot \omega$) и кинетического момента некоторой точки, обладающей массой тела и отстоящей от оси вращения на таком же расстоянии, что и ЦМ: $L = I_0 \cdot \omega + m \cdot r^2 \cdot \omega$.

Между моментом количества движения (кинетическим моментом) и моментом импульса силы существует количественная взаимосвязь: $DL = Mz \cdot Dt = I \cdot D\omega = Sz$.

Таким образом, количество движения и кинетический момент являются динамическими мерами движения. Они отражают взаимосвязь сил и движения.

Энергетические характеристики. При движении человека силы, приложенные к его телу на некотором пути, совершают работу и изменяют положение и скорость звеньев тела, что изменяет его энергию. Работа характеризует процесс, при котором изменяется энергия системы. Энергия характеризует состояние системы, изменяющейся вследствие работы. Энергетические показатели показывают, как меняются виды энергии при движении и протекает сам процесс изменения энергии.

Работа силы – мера действия силы на тело при некотором его перемещении под действием этой силы. Если величина силы, приложенной к твердому телу (которое может быть принято за материальную точку), остается постоянной, то работа этой силы на прямолинейном перемещении рассчитывается по формуле: $A = F \cdot S \cdot \cos \alpha$, где $F \cdot \cos \alpha$ – проекция силы на направление перемещения, α – угол между вектором силы и вектором перемещения.

Так как силы в движениях человека обычно переменны, а движения точек криволинейны, работа силы представляет собой сумму элементарных работ: $A = \sum F \cdot \cos \alpha \cdot DS$, где DS – бесконечно малое перемещение, измеренное вдоль траектории.

Сила может совершать положительную и отрицательную работу – увеличивать или уменьшать энергию тела. Поскольку работа силы вызывает изменение энергии системы, для расчета полезной механической работы может использоваться выражение $A = \Delta E_k + \Delta E_p$, где ΔE_k – изменение кинетической энергии тела, ΔE_p – изменение потенциальной энергии тела.

Работа силы тяжести тела равна произведению его веса на разность высот конечного и начального положений: $A = m \cdot g \cdot h = P \cdot h$. При опускании тела работа силы тяжести положительная и наоборот.

Работа силы упругости при удлинении (Dl) тела с коэффициентом жесткости (C) имеет выражение: $A_{\text{упр.}} = - C \cdot Dl^2 / 2$.

Работа силы трения при прижимающей силе (сила нормального давления – N), коэффициенте трения k на перемещении DS равна: $A_{\text{тр.}} = - N \cdot k \cdot DS$.

Работа силы тяжести и силы упругости не зависит от формы траектории тела; работ силы трения зависит от длины пути и, следовательно, от формы траектории.

При вращательном движении работа силы на конечном пути зависит от момента силы и углового перемещения: $A_z = M \cdot Dj$.

Важным показателем, характеризующим быстроту совершения работы, является **мощность силы** – мера быстроты приращения работы силы. Мощность (N) характеризует работу по времени, в течение которого она производилась: $N = DA / Dt = F \cdot V$.

Эффективность приложения сил в механике определяют по коэффициенту полезного действия (к.п.д.) – отношению полезной работы ко всей затраченной работе движущих сил: $h = N_p / N = A_p / A$.

Механическая энергия тела определяется скоростями движения тел в системе и их взаимным расположением. Таким образом, **механическая энергия** – это энергия движения и местоположения.

Кинетическая энергия тела – это его энергия его механического движения, определяющая возможность совершить работу. При поступательном движении она

равна половине произведения массы тела на квадрат его скорости: $E_k(\text{пост}) = m \cdot v^2 / 2$. изменение кинетической энергии всегда равно работе сил внутренних и внешних по отношению к этому телу: $DE_k(\text{пост}) = F \cdot DS$.

При вращательном движении кинетическая энергия тела имеет выражение: $E_k(\text{вращ}) = I \cdot \omega^2 / 2$, а ее изменение равно: $DE_k(\text{вращ}) = M \cdot \omega$.

Выражение кинетической энергии системы вращающихся тел можно представить, как сумму кинетической энергии тел, вращающихся вокруг своих ЦМ вокруг осей параллельных основной оси вращения, и из кинетической энергии этих тел относительно основной оси вращения: $SE_k(\text{вращ}) = SE_0 + SE$.

Потенциальная энергия тела – это энергия его положения, обусловленная взаимным относительным расположением тел или частей одного и того же тела и характером их взаимодействия. Потенциальная энергия в поле сил тяжести: $E_p(\text{тяж}) = m \cdot g \cdot h$.

Потенциальная энергия упругодеформированного тела: $E_p(\text{упр}) = C \cdot D l^2 / 2$.

Потенциальная энергия в поле сил тяжести зависит от расположения тела относительно Земли. Потенциальная энергия упругодеформированной системы зависит от взаимного расположения ее частей.

Полная кинетическая энергия тела человека равна сумме кинетической энергии ЦМ системы в поступательном движении и кинетической энергии тела во вращательном движении вокруг ЦМ: $E_k = E_{\text{пост}} + E_{\text{вращ}}$.

Лекция 3

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В БИОМЕХАНИКЕ

1. Постановка задачи и выбор методик исследования.
2. Понятие об измерительной системе (датчики, передача, преобразование, регистрация информации).
3. Экспериментальные методы определения биомеханических параметров (оптические и оптико-электронные, механоэлектрические, измерения временных интервалов, комплексные).
4. Расчетные методы (определение координат, скоростей, ускорений, сил, моментов сил).

1. 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 информации 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 признаку биомеханические характеристики могут быть разделены на биомеханические параметры и биомеханические переменные.

Биомеханические параметры – это такие характеристик, 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).

2. 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 использоваться для измерения усилий. Входная величина потенциометра – угловое перемещение, выходная – изменение сопротивления. У него сравнительно небольшая погрешность, высокая чувствительность.

Тензорезисторы. Используются для измерения усилий. Использование 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. $R = S \cdot l / q$ – 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. 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. 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.

Электроды – игольчатые и накожные – предназначены для снятия биопотенциалов с работающих мышц.

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.

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

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:

- обычная фотография для определения структуры позы;
- фотография с многократной экспозицией – для получения информации о движениях в плоскости съемки.

При использовании этих видов фотосъемки тремя синхронизированными аппаратами получают изображение объекта в трех плоскостях.

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

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.

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.

Фото- и кинопленка является материалом для расчетов механических характеристик движения, точность которых зависит от достоверности снятия исходных координат, что в свою очередь, является следствием правильности организации съемки.

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:

$E_0 = V F k / C f$, 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. Однако для количественной оценки техники обычные видеоманитофоны не подходят из-за низкой разрешающей способности. В связи с этим созданы специализированные видеоманитофоны (так называемое Speed-Video). В комплексе с вычислительным устройством они 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. Изменения 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 химической обработки материалов (не всегда) 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 выполнения 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 тензодатчики, но могут применяться и реостатные датчики.

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.

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, была в 3–4 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 приме-

няются механические и электромеханические гониометры. В последних используются реостатные потенциометры. Корпус потенциометра жестко связывается с одной из планок гониометра, а с другой – его ось.

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.

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 обезжиривать 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 включают 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 яв-

ляется 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 записи этих процессов на различные носители возникает необходимость в применении специальных устройств для синхронизации записи.

При использовании механо- и (или) тензодинамографии задача синхронизации записей решается проще, так как они осуществляются на одной и той же ленте.

Итак, 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.

4. Расчетные методы изучения движений

(определение координат, скоростей, ускорений, сил, моментов сил)

Содержательные выводы могут быть сделаны на основании надежной достоверной информации. Отсюда следует, что методы и аппаратура, применяемые в биомеханических исследованиях, должны обеспечивать получение достоверных результатов. Это означает, что степень точности измерений должна соответствовать цели исследования, а методы и аппаратура не должны влиять на исследуемый процесс, то есть не должны искажать результат и мешать испытываемому.

На первый взгляд этим требованиям вполне отвечают (косвенные измерения, механико-математическое моделирование), основанные на использовании физических закономерностей и статистических данных о геометрии масс тела человека. Расчетные методы используются при решении прямой и обратной задач динамики. 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.

Видные биомеханики Д.Д. Донской и С.В. Дмитриев (1996) констатируют, что «...развитие точной регистрирующей аппаратуры и компьютеризация исследований двигательных актов захватили исследователей построением механико-математических моделей, очень сложных и эффективных в раскрытии тончайших деталей движения (особенно в инженерной и медицинской биомеханике)». Мы не вправе оспаривать это утверждение полностью, но эффективность применения механико-математического моделирования для решения некоторых задач биомеханики спорта подвергается сомнению многими не менее известными исследователями.

В отечественной научно-методической литературе возможности расчетных методов продемонстрированы в единичных работах, подтвердивших общеизвестные истины, например, при определении ведущих элементов техники в спортивной гимнастике (Ю.А. Ипполитов, 1997), выделении факторов, обеспечивающих результат в прыжках на лыжах с трамплина (Н.А. Багин, 1997), выявлении зависимости между кинематикой и динамикой вращений в фигурном катании на коньках (В.И. Виноградова, 1999). Авторы продемонстрировали высочайшую эрудицию, но во всех 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.

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» (И.П. Ратов, Г.И. Попов, 1996). Эти же авторы экспериментально подтвердили 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 показали, что в биомеханических системах функция «сила-ускорение» – нелинейная, то есть значительные ускорения при перемещении масс могут не приводить к появлению усилий.

Таким образом, недостатком расчетных методов вообще и особенно механико-математического моделирования является то, что «...разработанные модели движений человека (сомнительно адекватные живому телу человека и его движениям) пытаются «начинить» среднестатистической геометрией масс и реальной кинематикой живых упражнений» (М.Л. Иоффе с соавт., 1995). «Результаты такого подхода плачевны как с научной, так и с практической точек зрения», – подчеркивает Н.Г. Сучилин (1998).

Лекция 4

СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

1. Биомеханические пары и цепи.
2. Звенья тела как рычаги и маятники.
3. Биодинамика мышц. Механические свойства мышц.
4. Строение биомеханической системы.

Движения человека в значительной мере зависят от строения тела и свойств его тела. Чрезвычайная сложность строения (206 костей – 17- 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» (В.Н. Селуянов с соавт., 1995). «**Биомеханизм** – модель части или всего опорно-двигательного аппарата, обеспечивающая достижение цели двигательного действия за счет преобразования одного вида энергии в другой». Его элементы – мышцы, суставы, кости.

1. Биомеханические пары и цепи

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.

Незамкнутая цепь может стать замкнутой, если свободное конечное звено получит связь – замкнется «на себя» или «на опору».

Вопрос. Верно ли, что биомеханическая система состоит из биомеханических пар и цепей – подвижно соединенных частей (сегментов) тела.

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 6 степеней свободы. Каждая связь уменьшает число степеней свободы. Фиксация одной точки свободного тела лишает его трех степеней свободы (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 атлантаосевого), 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».

2. Звенья тела как рычаги и маятники

Основу биокинематической цепи составляют кости – твердые негибкие звенья. 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).

Каждый рычаг имеет следующие элементы: точку опоры «О», 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:

A – рычаг первого рода (двуплечий). B – рычаг второго рода (одноплечий), рычаг силы. B – 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.

3. 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 это – сила, регистрируемая на ее концах (сила тяги) и скорость изменения длины. Механические свойства мышцы обусловлены свойствами ее элементов и их расположении в мышце.

Современная модель мышцы представляет ее как комбинацию упругих и сократительных компонентов. Упругие компоненты аналогичны пружинам. Энергия упругой деформации равна механической работе, затраченной на ее растягивание. Энергия упругой деформации такой пружины $P_d = C$, которая была затрачена на ее растягивание.

Различают параллельные упругие компоненты – соединительнотканное образование, составляющие оболочку мышцы и ее пучков. И последовательные упругие компоненты – сухожилия, места перехода миофибрилл в соединительную ткань.

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.

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.

Упругие силы, то есть энергия упругой деформации параллельных и последовательных упругих компонентов вносит 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 выполнение 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.

Вопрос. Главные биомеханические показатели, характеризующие деятельность мышцы это – сила, регистрируемая на ее концах (сила тяги) и ...изменения длины.

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 ком-

бинированных 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 (И.М. Козлов, 1983; В.С. Топчийн, 1980).

Вопрос. По признаку «сила тяги – длина мышцы выделяют следующие режимы мышечного сокращения:

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 беспрельдно. 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.

Физиологические условия можно свести к возбуждению и утомлению мышцы. Кроме того, величина тяги мышцы существенно зависит от быстроты 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 жесткое тело; на ускорения длительностью от 0,06 до 0,10 с – как эластическое. Это связано с длительностью латентного периода самых быстрых рефлексов, связанных с ориентацией тела человека в пространстве.

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

Разновидности работы мышц. 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 9 типичных разновидностей работы мышц: движение «до отказа», усиление фиксации, торможение до остановки, изотоническое преодоление, постоянная фиксация, изотоническое уступание, разгон до максимальной скорости, ослабление фиксации, торможение с уступанием.

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 ре-

жимах. 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 тяги мышц в биокинематической цепи. Действия мышц в биокинематических цепях в естественных условиях никогда не бывают изолированными. Мышцы участвуют в движениях группами, взаимодействуя внутри групп и между группами. Различают рабочие тяги мышц и опорные. Рабочие тяги создаются мышцами, обеспечивающими активное движение рабочих звеньев. Сохранение позы, в том числе стояние на опоре, обеспечивается опорными тягами мышц. Таким образом создается опора для мышц, выполняющих динамическую работу. Как правило в движениях, требующих проявления значительных динамических усилий, опорные тяги также весьма значительны. При длительном выполнении статической работы организм использует двигательные переключения, либо поддержание позы осуществляется в «колебательном» режиме.

По направлению действия различают следующие функциональные группы мышц: синергисты и антагонисты. Их согласованность превращает неодноосный сустав в биодинамически полносвязный (с единственно возможным движением) механизм с определенным направлением движения и скоростью звена.

Синергизм (совместное действие) и антагонизм (противоположное действие) в работе мышц относительны. Составляющие тяги синергистов могут быть направлены под углом друг к другу. Кроме того, совместное действие синергистов и антагонистов обеспечивает направление и скорость движения, и они, таким образом, проявляют синергизм (в некоторой степени).

Вместе с тем, тормозящее действие антагонистом может отсутствовать в тех случаях, когда движение выполняется против постоянного сопротивления, либо против возрастающего сопротивления (упругая сила). Ускоряющее действие синергистов против сил упругости возрастает, а против сил инерции уменьшается. Таким образом, упражнения с резиновым амортизатором и со свободно перемещающимся отягощением различны по характеру работы мышц.

Влиянием упругих и инерционных сил объясняется разное согласование тяги синергистов и антагонистов в повторяющихся колебательных движениях разной частоты. В медленных движениях работа мышц противоположной тяги чередуется. Антагонист тормозит звено, а затем став синергистом движет звено в обратную сторону. С увеличением частоты движений активность синергистов и антагонистов перекрывает друг друга.

Распределение усилий в группе мышц данного сустава по ходу движения меняется. Практически невозможна точная дозировка силы тяги каждой мышцы, скорости изменения усилия, времени начала и окончания активности каждой мышцы. Научиться преодолевать рассогласования мышечных тяг – одна из главных задач при овладении движениями, путь к наибольшей точности и экономичности движений.

4. Строение биомеханической системы

Для изучения опорно-двигательного аппарата человека, как биомеханической системы последовательно рассматривают строение этой системы и ее свойства. С точки зрения биомеханики опорно-двигательный аппарат – это управляемые биокинематические цепи (звенья и их соединения), оснащенные группами мышц. Вместе они выполняют задаваемые движения как биомеханизм. Строение биомеханической системы. Самой характерной чертой строения биомеханической системы считается его (строения) переменный характер. Число движущихся звеньев, степени свободы движений, состав мышечных групп и их взаимодействие переменны.

Звенья биокинематических цепей. Биокинематические цепи опорно-двигательного аппарата состоят из подвижно соединенных звеньев (твердых, упругих и гибких) и отличаются их переменным составом, своей длиной и формой (составные рычаги и маятники).

Фиксирование суставов (блокада) и их освобождение (снятие динамических связей – тяги мышц) изменяют число движущихся звеньев в цепи. Она может превратиться как бы в одно звено или сохранять движение в части сочленений или во всех сочленениях.

Расстояние по прямой от проксимального сочленения до конца открытой цепи при ее разгибании-сгибании изменяется. Многозвенные маятники поэтому имеют переменную длину. Это влияет на величину инертного сопротивления (изменяется момент инерции).

Биокинематические цепи замыкаясь геометрически (связыванием между собой концевых звеньев), изменяют свои свойства (передача усилий, возможности управления). В частности, возникают составные рычаги со сложной передачей тяг многосуставных мышц. Твердые звенья (кости), упругие (мышцы) и гибкие (связки, сами мышцы и их сухожилия), изменяя степень и характер своего участия в движениях, обеспечивают многообразные возможности движения.

Механизмы соединений. Механизмы соединений звеньев в биомеханических цепях и неодноосных сочленениях позволяют определять требуемое движение благодаря образованию биодинамически полносвязного механизма.

Биодинамически полносвязный механизм (биомеханизм) характеризуется включением лишних в данном движении степеней свободы. Тяги групп мышц обеспечивают требуемое направление движений звеньев в биокинематических цепях и регулирование их скоростей. Кроме этого, мышцы при необходимости ограничивают и размах движений, затормаживая звенья раньше, чем наступает пассивное ограничение (костно-суставно-связочное).

Направление движений, скорости звеньев и размах движений в ряде суставов взаимосвязаны благодаря совместному действию многосуставных мышц. Мышечные синергии. Мышечные тяги в биокинематических цепях складываются в мышечные синергии – согласованные тяги группы мышц переменного действия, управляющие группой звеньев.

С одной стороны, мышцы изменяют свое действие по ходу движения, действие их переменное. С другой стороны, в сложных установившихся движениях совместное действие мышц настолько стабильно, что они представляют собой весьма постоянные устойчивые объединения («двигательные ансамбли», по А.А. Ухтомскому).

Этим обеспечивается управление каждым звеном и всем биомеханизмом в целом в соответствии с решаемой двигательной задачей. Из бесчисленного количества возможных движений выделялись, совершенствовались и стали применяться лишь немногие, наиболее целесообразные. Определяющую роль в этом играют мышечные синергии, находящиеся под контролем и управляемые нервной системой. Их активность строго согласуется с множеством сил, приложенных к костным звеньям, и направлена на наиболее рациональное использование законов биомеханики для решения двигательной задачи.

Свойства биомеханической системы. Биомеханическая система характеризуется процессами двигательной деятельности, ее энергообеспечения и управления двигательными действиями. Свойства биомеханической системы позволяют регулировать подвод и расход энергии и управлять движениями в переменных условиях при смене двигательных задач.

Энергетическое обеспечение движений. Механическая энергия биомеханической системы расходуется, с одной стороны, эффективно (на выполнение заданных движений), а с другой – непроизводительно (рассеивание энергии). Энергообеспечение производится из двух источников. Энергия подводится в систему извне (работа внешних сил) и изнутри (превращение химической энергии в механическую).

При движениях в биомеханической системе происходят различного рода деформации. Позная деформация – перемена позы как взаимного расположения звеньев под действием внутренних и внешних сил. Мышечная деформация – изменение длины и поперечника мышц при их сокращении и растягивании, напряжении и расслаблении (изменения сократительных и упругих элементов при возбуждении и нагрузках). Внутренняя деформация – смещение мягких и жидких тканей при ускорениях, что вызывает появление внутренних сил инерции и трения.

Позная деформация – это и есть те движения, которые необходимы для решения двигательной задачи. На работу по перемещению звеньев тела энергия затрачивается эффективно.

Вследствие затраты работы механических сил на деформации происходит рассеивание (диссипация) энергии – расходование ее на непроизводительную работу против сил трения, упругих, вязких и других сил. При остановке движения напряжением мышц с их последующим расслаблением, механическая энергия движения превращается в другие виды энергии без работы внешних сил.

Превращение в мышцах химической энергии в механическую не обусловлено прямо внешними механическими условиями. Расход и подвод энергии в биомеханической системе возможны без механического воздействия среды. Следовательно, биомеханическая система не изолированная (замкнутая) система, в которой сохраняется общее количество механической энергии. Это – открытая система, которая обменивается энергией с окружающей средой.

Приспособительная активность в переменных условиях обуславливает эффективность движений благодаря соответствию нервных импульсов из центральной нервной системы внешнему окружению, начальным условиям движений (тяге мышц, положения и скорости звена), состоянию организма и двигательной задаче.

На биомеханическую систему может воздействовать множество окружающих тел (снаряды, отягощения, партнеры, противники), опора и среда (воздушная, водная). Все эти воздействия (внешние силы) обычно не остаются постоянными, они переменны по своей величине, направлению и месту приложения.

Сами силы мышечных тяг как внутренние активные силы увеличиваются и уменьшаются, изменяются их плечи (плечи сил), вращающие моменты. Поэтому эффект мышечных тяг в суставах не остается постоянным; совокупность мышечных тяг крайне изменчива. В этих изменениях кроме механических факторов отражается управление движениями со стороны нервной системы.

Пассивные внутренние силы сопротивления также изменчивы. Это относится к силам упругим, вязким, инерционным, трения, реакциям опоры и другим. Особенно велики и переменны по величине и направлению инерционные реактивные силы (центробежные при вращательном движении, инерционное сопротивление и напор звеньев при их разгоне и торможении).

Таким образом, переменные мышечные силы действуют в переменных условиях внешнего воздействия и внутренних сопротивлений, возникающих в самой биомеханической системе.

В абсолютно твердом теле ускорение всего тела, всех его частиц возникает в момент приложения силы. В упругом же теле механический эффект передается всем его частицам лишь с течением времени, то есть происходит запаздывание эффекта.

Скорость деформации обусловлена упругостью, расположением звеньев тела в суставах, приложенными силами и другими причинами.

Все факторы, вызывающие запаздывание механического эффекта в ответ на воздействия (механические и физиологические) непостоянны, они могут изменяться в широких пределах и в кратчайшее время. Поэтому величины общего запаздывания (сумма времени запаздывания разного происхождения) относятся к числу тех, которые нельзя предусмотреть точно.

Запаздывание механического эффекта не исключает того, что благодаря сигнальному значению раздражителей организм заранее подготавливается к будущему воздействию, опережает его.

Вполне определенный эффект движения возможен лишь в том случае, если импульсы из центральной нервной системы будут соответствовать начальным условиям движения – тяге мышц, приложенным силам, положению и скорости звена. Одинаковые нервные импульсы из центральной нервной системы при прочих равных условиях вызывают одинаковые напряжения мышц, а одинаковые напряжения мышц обуславливают одинаковые движения. В принципе это верно, но так как никогда не бывает равных условий, то и однозначной связи между импульсом и движением нет.

Сила тяги мышцы зависит не только от ее возбуждения (результата импульса), но в числе других причин и от ее длины (насколько растянута, как быстро и как давно). Одинаковые импульсы вызывают в мышце при различном растягивании различные силы тяги. Движения звена зависят от многих мышц и, кроме того, от всех других сил, приложенных к звену. Поэтому между силой тяги мышцы и движением звена также нет однозначной связи.

Наконец, при различных начальных положениях и скорости звена даже одно и то же изменение скорости под действием сил (ускорение) обусловит различия в движениях – либо ускорит их, либо замедлит, по-разному изменит их направление.

Таким образом, для соответствия движения двигательной задаче необходимо управлять этим движением с учетом всех условий (внешних и внутренних), что возможно благодаря приспособительной активности нервной системы. Связи между нервным импульсом, силой тяги мышцы и движением звена неоднозначны и зависят от множества факторов (Н.А. Бернштейн).

Лекция 5

БИОДИНАМИКА ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ

1. Геометрия масс тела. Общий центр масс тела человека.
2. Составные движения в биокинематических цепях.
3. Силы в движениях человека.

1. Геометрия масс тела. Общий центр масс тела человека

Геометрия масс тела (распределение масс тела) характеризуется такими показателями, как вес (масса) отдельных звеньев тела, положение центров масс отдельных звеньев и всего тела, моменты инерции и др.

Общий центр масс тела человека. Вес отдельных звеньев тела зависит от веса тела в целом. Центр масс твердого тела является вполне определенной фиксированной точкой, не изменяющей своего положения относительно тела. Центр масс системы тел может менять свое положение, если изменяются расстояния между точками этой системы. В биомеханике различают центры масс отдельных звеньев тела (например, голени или предплечья) и центр масс всего тела.

У человека, стоящего в основной стойке, горизонтальная плоскость, проходящая через ОЦМ, находится примерно на уровне второго крестцового позвонка. В положении лежа ОЦМ смещается в сторону головы примерно на 1%; у женщин он расположен в среднем на 1–2% ниже, чем у мужчин; у детей-дошкольников он существенно выше, чем у взрослых (например, у годовалых детей в среднем на 15%).

При изменении позы ОЦМ тела, естественно, смещается и в некоторых случаях, в частности при наклонах вперед и назад, может находиться вне тела человека. Чтобы определить положение ОЦМ тела, используют либо экспериментальные, либо расчетные методы.

Гораздо чаще, чем экспериментальные, используют расчетные методы. Чтобы определить расчетным путем координаты ЦМ тела в любой позе, надо знать:

- 1) положение отдельных звеньев тела;
- 2) вес отдельных звеньев тела;
- 3) положение ЦМ отдельных звеньев тела.

Положение отдельных звеньев тела определяют по кинограммам, фотографиям или каким-либо другим способом (например, с экрана видеоманитофона); вес – по весовым коэффициентам, либо рассчитывают. Что касается ЦМ отдельных звеньев, то считают, что они расположены на продольных осях, соединяющих центры суставов. Для определения положения ЦМ тела расчетным путем чаще всего используют теорему Вариньона: сумма моментов сил относительно оси равна моменту равнодействующей силы относительно этой оси.

Моменты инерции тела. Как известно, момент инерции системы материальных точек относительно оси вращения равен сумме произведений масс этих точек на квадраты их расстояний до оси вращения. Центральным моментом инерции называется момент инерции относительно оси вращения, проходящей через ЦМ. Момент инерции всего тела зависит от позы тела и оси вращения. Изменением позы можно очень сильно изменить момент инерции. Например, группировка при выполнении сальто уменьшает момент инерции по сравнению с прямым положением тела примерно в три раза.

Центр объема и центр поверхности тела. К показателям геометрии масс тела относят также центр объема тела и центр поверхности тела. **Центр объема тела** – точка приложения равнодействующей силы гидростатического давления (сил Архимеда). Поскольку плотность тела человека неодинакова (в частности, легкие занимают большой объем, а весят очень мало), центр объема тела не совпадает с его общим ЦМ и в положении человека стоя находится на 2–6 см выше ОЦМ. Взаимоположение центра объема и ОЦМ влияет на условия равновесия тела в воде.

Центр поверхности тела – точка приложения равнодействующей сил действия среды (воздуха, воды). Центр поверхности тела зависит от позы и направления потока среды. При больших скоростях полета (прыжки с парашютом, прыжки на лыжах), когда силы сопротивления воздуха велики, относительное положение центра поверхности и ОЦМ тела влияет на сохранение равновесия.

2. Составные движения в биокинематических цепях

В биокинематических цепях тела человека движение может передаваться от звена к звену. Скорость, например, кисти при броске мяча может быть результатом движений ног и туловища, а также движений в суставах руки. Движение кисти в этом случае как бы составляется из движений других звеньев тела. Движение, обусловленное движениями ряда звеньев, в биомеханике называют составным. В механике принято называть сложным (или составным) движением одного тела сумму одновременных простейших – поступательного и вращательного. За таким движением в курсе биомеханики остается наименование «сложное».

Составляющие составного движения. Составное движение образуется из нескольких составляющих движений звеньев в сочленениях биокинематической цепи.

В простейших случаях в механике складываются два поступательных движения двух тел.

Когда в составном движении принимают участие два тела, то обычно составляющие движения называют переносными и относительными. В биокинематических цепях обычно движется много звеньев; одни «несут» на себе движения других (несущие и несомые движения). Несущее движение (например, мах бедром при выносе ноги в беге) изменяет несомое (сгибание голени).

При движениях в незамкнутой кинематической цепи угловые перемещения, скорости и ускорения, если они направлены в одну сторону, складываются. Разнонаправленные движения не складываются, а вычитаются (суммируются алгебраически).

Сложнее составные движения, в которых составляющие движения вращательные (по дуге окружности) и поступательные (вдоль радиуса). В составном движении, образованном из вращательных составляющих движений (в биокинематической цепи), вследствие суммирования равнонаправленных и вычитания разнонаправленных движений в разных суставах всегда происходит прибавление движения и вдоль радиуса (поступательное). Значит, биокинематическая цепь (по прямой линии – от ее начала до конца) укорачивается или удлиняется (например, при махе рукой, ногой в прыжках).

В биокинематических цепях с большим числом степеней свободы движений кинематика очень сложна. Каждое движение в сочленениях незамкнутой цепи (например, свободной конечности) влияет на траектории скорости и ускорения более отдаленных звеньев. В этих случаях характеристики составных движений проще регистрировать, чем рассчитывать.

Движения биокинематических цепей. В зависимости от направления скоростей, движения звеньев тела человека могут быть возвратно-вращательными, возвратно-поступательными и круговыми. Строение сочленений не позволяет совершать движения в суставах по «принципу колеса», т. е. делать неограниченный поворот вокруг оси сустава в одну сторону. Поэтому почти все движения имеют возвратный характер. Возвратно-вращательные движения напоминают движения маятника вокруг оси, расположенной поперек биокинематической цепи (сгибание-разгибание) или продольно (супинация-пронация).

Определенное согласование вращательных движений в различных суставах биокинематической цепи позволяет конечным звеньям двигаться поступательно (кисть боксера при вращательных движениях в плечевом и локтевом суставах; туловище бегуна при отталкивании ногой). Пример возвратно-поступательного движения – работа пилой, напильником. В этих случаях угловые скорости противоположно направленных движений одинаковы (пара скоростей).

Наконец, в шаровидных суставах возможно сложное круговое движение, когда продольная ось звена описывает коническую поверхность. При этом согласуются два движения: самой продольной оси и звена вокруг этой оси. Только такое конусообразное движение и может выполняться без обязательных возвратных движений.

В возвратных движениях имеется критическая точка, в которой происходит смена направления движения (амортизации на отталкивание – в беге, заноса весла на гребковое движение – в гребле, замаха ракеткой на ударное движение – в теннисе). В каждом суставе направления и размах движений ограничены. Значит, звено в суставе может занимать не любое, а лишь анатомически возможное положение.

Динамика составных движений. В динамике абсолютно твердого тела действие силы рассматривается как причина изменения движения. Однако если силы уравновешены, то изменения движения не произойдет. В деформируемом теле возникает

при этом деформация и связанное с нею изменение напряжения внутри тела (статическое действие).

Сила, действующая динамически (действие), вызывает ускорение и деформацию, а также противодействие ускоряемого тела – силу инерции. Зная массу ускоряемого тела и его ускорение под действием динамической силы, определяют ее величину и направление.

Силы, приложенные к звеньям тела человека, действуя динамически, приводят к различному результату. В зависимости от того, как направлены силы относительно скорости движущегося тела, различают:

- движущие силы, которые совпадают с направлением скорости (попутные) или образуют с ним острый угол и могут совершать положительную работу;
- тормозящие силы, которые направлены противоположно направлению скорости (встречные) или образуют с ним тупой угол и могут совершать отрицательную работу;
- отклоняющие силы, перпендикулярные к направлению скорости и увеличивающие кривизну траектории;
- возвращающие силы, также перпендикулярные к направлению движения, но уменьшающие кривизну траектории.

Обе последние группы сил непосредственно не изменяют величину тангенциальной (касательной) скорости.

От соотношения сил, приложенных к каждому звену тела, зависит и результат их действия.

Тормозящие силы имеются всегда. Если движущие силы больше тормозящих, то их разность – ускоряющая сила – обуславливает увеличение скорости, сообщает телу положительное ускорение, совершает положительную работу, увеличивает кинетическую энергию тела. Необходимо подчеркнуть, что не вся движущая сила обуславливает ускорение, а только ее избыток над тормозящей силой, т. е. ускоряющая сила. Значит, не вся движущая сила совершает работу по передвижению звеньев. Значительная часть работы переходит в механическую энергию деформации и, кроме того, в немеханические формы энергии (прежде всего в тепловую). Если нет движущих сил (у них нулевая величина – движение происходит по инерции) или они меньше тормозящих, то их разность – замедляющая сила – уменьшает скорость, обуславливает отрицательное ускорение (замедление). От соотношения отклоняющих и возвращающих сил зависит действие поворачивающей силы, изменяющей кривизну траектории. С уменьшением поворачивающей силы траектория выпрямляется, приближаясь к прямолинейной.

Силы, приложенные к звену в месте контакта с соседним звеном, – суставные силы. Силы, приложенные к звену тела на плече силы, создают относительно оси сустава суставные моменты. Действие их в основном такое же, как и самих сил: ускоряющее, замедляющее, поворачивающее. В конечном счете именно действие суставных сил и суставных моментов сил и вызывает изменение положений тела и изменение движений.

Скорости звеньев изменяются в результате импульсов сил и моментов сил. Множество сил обуславливает для каждого звена в сочленении результирующий импульс момента сил. Каждое звено изменяет скорость вращения вокруг оси в суставе вследствие именно к нему приложенных сил. Причины движений для каждого звена в биокинематических цепях разные. Именно поэтому в материальной системе при ее разнообразных движениях нельзя найти одну равнодействующую силу, которая заменяла бы для всех звеньев все силы, приложенные к каждому звену. Можно лишь устанавливать равнодействующие силы и моменты сил для каждого звена.

В материальной системе не действуют аксиомы статики о приложении двух равных и противоположных сил и о переносе вектора силы по его направлению. Приложе-

ние двух сил или перенос силы вызывает деформацию и изменяет напряжение. Вектор силы в материальной системе не скользящий, а связанный, и поэтому его переносить нельзя. По этой же причине в материальной системе нельзя складывать параллельные силы (тяжести, инерции) и понятия «центр тяжести», «центр инерции» для нее не имеют физического смысла. Однако для расчетов, а также для уяснения характера процессов применяют прием отвердения. Условно считают биомеханическую систему на данный момент времени отвердевшей, превратившейся в одно твердое тело. Тогда можно найти положения ЦМ такими же способами, как центра тяжести твердого тела; можно привести силы к точке; возможен перенос реакции опоры в ЦМ и другие операции. Делаются в биомеханике и иные допущения: множество фактических источников сил сводится к немногим; тело человека рассматривается по редуцированной (сокращенной) схеме (14 или 16 звеньев вместо более 200) и др. Считается, что усилия передаются от одного звена к другому без потерь, в то время как полнота передачи определяется суставной жесткостью, зависящей от мышечных суставных моментов, от напряженности мышц. Делая подобные упрощения, без которых вообще невозможно изучать движения человека, следует ясно понимать характер и степень допущений, чтобы правильно оценивать получаемые результаты.

3. Силы в движениях человека

Все силы, которые приложены к телу человека, делят на внешние и внутренние относительно него. Внешние силы вызваны действием внешних для человека тел (опора, снаряды, другие люди, среда и т. п.). Только при их наличии возможно изменение траектории и скорости ЦМ; без них движение ЦМ не изменяется.

Внутренние силы возникают при взаимодействии частей тела человека друг с другом. Сами по себе они не могут изменить движения ЦМ, не могут привести все части системы в одинаковые движения. Но только внутренними силами тяги мышц человек управляет непосредственно, вызывая движения звеньев в суставах.

Разделение сил, приложенных к телу человека, на внешние и внутренние относительно. Всегда надо ставить вопрос: по отношению к какому телу или какой системе тел делается это разделение? 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 подсистемы – верхнюю и нижнюю половины тела по весу; тяги мышц, соединяющих эти подсистемы, можно рассматривать как внешние для них силы).

Все силы, которые действуют извне на тело человека, возникая при контакте с соответствующими внешними телами (и средой в том числе), – это контактные силы. Лишь силы тяжести могут действовать на тело человека без контакта, на расстоянии (дистантные силы).

Силы инерции внешних тел. Внешние силы изменяют движения человека, вызывают ускорения – тогда-то и возникают силы инерции. Сила инерции внешнего тела (реальная) – это мера действия на тело человека со стороны внешнего тела, ускоряемого человеком; она равна массе ускоряемого тела, умноженной на его ускорение.

Сила инерции внешнего тела при его ускорении человеком направлена в сторону, противоположную ускорению. Она приложена в месте контакта с ускоряемым телом, в рабочей точке тела человека.

Ускорение может быть положительным; человек увеличивает скорость, например, ядра, толкая его от себя. Тогда сила инерции ядра воспринимается как сопротивление.

Ускорение может быть отрицательным; человек уменьшает скорость, например, набивного мяча, когда ловит его движением «на себя». Тогда сила инерции мяча вос-

принимается как его напор. Если же ускорение нормальное (центростремительное), человек удерживает, например, диск при его разгоне по криволинейной траектории, тогда центробежная сила инерции диска приложена к руке метателя и воспринимается как тяга – «стремление» диска вырваться из руки по радиусу.

Во вращательном движении может проявиться еще сила инерции тангенциальная (например, если метатель ускоряет движение руки с диском по кривой). Эта сила направлена по касательной противоположно ускоряющей силе. В таком случае можно определить и полную силу инерции: как геометрическую сумму тангенциальной составляющей (при угловом ускорении) и нормальной (при центростремительном ускорении).

До сих пор рассматривалась реальная сила инерции внешних тел, когда использовалась инерциальная (неподвижная) система отсчета. В этих случаях сила инерции ускоряемого тела (ядра, мяча, диска) была вызвана ускоряющим телом (человеком). Сила инерции (реальная) – неуравновешивающее противодействие ускоряемого внешнего тела (по третьему закону Ньютона).

Иногда используют неинерциальную («ускоряющуюся») систему отсчета, в которой законы Ньютона не применимы. В этих случаях вводят «фиктивную» силу инерции, что позволяет в расчетах применить законы Ньютона. Она имеет такую же величину (масса, умноженная на ускорение) и направлена так же (в сторону, противоположную ускорению неинерциальной системы), как реальная сила инерции. Но точкой приложения «фиктивной» силы инерции считается центр инерции самого ускоряемого тела. Фиктивна здесь не сама сила инерции, а точка ее приложения (центр инерции ядра, мяча, диска вместо рабочей точки тела человека). А как же понимать это явление на самом деле?» Ответ очень простой: явление одно и то же, только описания его в разных системах отсчета различны. Вот почему, рассматривая силы инерции, всегда надо определять, силы инерции какого тела, в какой системе отсчета и к какому телу приложены.

Применяемые в физических упражнениях отягощения действуют не только своим весом (не смешивать с силой тяжести), но и реальной силой инерции, если отягощению придается ускорение. По принципу эквивалентности гравитация (тяготение) и инерция (ускорение) по действию практически неразличимы.

Силы упругой деформации. Все реальные тела под действием приложенных сил деформируются. Силы, возникающие в теле, противодействующие деформации и после нее восстанавливающие форму тела, называют упругими.

Сила упругой деформации – это мера действия деформированного тела на другие тела, вызывающие эту деформацию. Упругие силы зависят от свойств деформированного тела, а также вида и величины деформации: $[F_{упр}] = MLT^{-2}$, где $F_{упр}$ – упругая сила, – деформация, C – коэффициент жесткости (упругости) тела¹. Коэффициент жесткости тела (C) равен отношению силы, например веса тела, к вызванной ею деформации.

Упругие силы, нарастая, останавливают деформацию. Искусственные покрытия мест занятий обладают определенной жесткостью, что позволяет использовать силы упругой деформации при амортизации и отталкивании.

Силы тяжести и вес. По закону всемирного тяготения все тела на Земле испытывают силу ее притяжения.

Сила тяжести тела – это мера его притяжения к Земле (с учетом влияния вращения Земли): $= \tau$; $[G] = MLT^{-2}$. Сила тяжести зависит от масс Земли и притягиваемого ею тела, а также от расстояния между ними. Расстояние от центра Земли до ее поверхности на полюсе меньше (6357 км), а на экваторе больше (6378 км), поэтому сила тяготения на экваторе на 0,2% меньше, чем на полюсах.

Так как Земля вращается вокруг своей оси, тела на ее поверхности испытывают действие центробежной силы инерции (фиктивной) в неинерционной (вращающейся) системе отсчета. Она больше всего на экваторе и уменьшает там силу тяготения еще на 0,3% (по сравнению с положением на полюсах). Поэтому сила тяжести равна геометрической сумме сил тяготения (гравитационной) и центробежной (инерционной).

На каждое звено и на все тело человека действуют силы тяжести как внешние силы, вызванные притяжением и вращением Земли. Равнодействующая параллельных сил тяжести тела приложена к его центру тяжести.

Когда тело покоится на опоре (или подвешено), сила тяжести, приложенная к телу, прижимает его к опоре (или отрывает от подвеса). Это действие тела на опору (нижнюю или верхнюю) измеряется весом тела. Вес тела (статический) – это мера воздействия тела в покое на покоящуюся же опору (или подвес), мешающую его падению. Значит, сила тяжести и вес тела не одна и та же сила. Вес всего тела человека приложен не к нему самому, а к его опоре (сила тяжести – дистантная, вес – контактная сила). В фазе полета в беге веса нет, это случай невесомости.

При воздействии головы на шейные позвонки взаимодействуют голова и позвоночный столб. Таким образом, вес головы относительно всего тела человека – сила внутренняя, относительно же позвоночного столба – внешняя. Вес, например, штанги, удерживаемой человеком, для него, конечно, внешняя сила.

При движении тела с ускорением, направленным по вертикали, возникает вертикальная сила инерции. Она направлена в сторону, противоположную ускорению. Если сила инерции направлена вниз, то она складывается со статическим весом; сила давления на опору при этом увеличивается. Если же сила инерции направлена вверх, то она вычитается из статического веса; сила давления на опору уменьшается. В обоих случаях измененный вес называют динамическим, он больше или меньше статического. Динамический вес штанги в руках спортсмена действует на него извне (внешняя сила). Динамический вес туловища при выпрыгивании вверх действует на ноги внутри тела (внутренняя сила относительно всего тела и внешняя – относительно ног).

Вопрос. Равнодействующая параллельных сил тяжести тела приложена к его

Силы реакции опоры. Действие веса тела на опору встречает противодействие, которое называют реакцией опоры (или опорной реакцией).

Реакция опоры – это мера противодействия опоры действию на нее тела, находящегося с ней в контакте (в покое или движении). Она равна силе действия тела на опору, направлена в противоположную сторону и приложена к этому телу.

Обычно человек, находясь на горизонтальной опоре, испытывает противодействие своему весу. В этом случае опорная реакция, как и вес тела, направлена перпендикулярно к опоре. Это нормальная (или идеальная) реакция опоры. Если поверхность не плоская, то опорная реакция перпендикулярна к плоскости, касательной к точке опоры.

Когда вес статический, то реакция опоры статическая; по величине она равна статическому весу. Если человек на опоре движется с ускорением, направленным вверх, то к статическому весу добавляется сила инерции и возникает динамическая реакция опоры.

Реакция опоры – сила пассивная (реактивная). Она не может сама по себе вызывать положительные ускорения. Но без нее – если нет опоры, если не от чего оттолкнуться (или не к чему притянуться) – человек не может активно перемещаться.

Если отталкиваться от горизонтальной опоры не прямо вверх, то и сила давления на опору будет приложена не под прямым углом к ее поверхности. Тогда реакция опоры также не будет перпендикулярна к поверхности, ее можно разложить на нормальную и касательную составляющие. Когда соприкасающиеся поверхности ровные,

без выступов, шипов и т. п. (асфальт, подошва ботинка), то касательная составляющая реакции опоры и есть сила трения.

Касательная реакция может быть обусловлена не только трением (как, например, между лыжей и снегом), но и другими взаимодействиями (например, шипы беговых туфель, вонзившиеся в дорожку).

Равнодействующая нормальной и касательной составляющих называется общей реакцией опоры. Она только при свободном неподвижном положении над опорой (или под опорой) проходит через ЦМ человека. Вовремя же движений, отталкивания или амортизации она обычно не проходит через ЦМ, образуя относительно него момент.

Силы действия среды. Спортсмену нередко приходится преодолевать сопротивление воздуха или воды. Среда, в которой движется человек, оказывает свое действие на его тело. Это действие может быть статическим (выталкивающая сила) и динамическим (лобовое сопротивление, нормальная реакция опоры).

Выталкивающая сила – это мера действия среды на погруженное в нее тело. Она измеряется весом вытесненного объема жидкости и направлена вверх.

Если выталкивающая сила больше силы тяжести тела, то тело всплывает. Если же сила тяжести тела больше выталкивающей силы, то оно тонет.

Лобовое сопротивление – это сила, с которой среда препятствует движению тела относительно нее. Величина лобового сопротивления (x) зависит от площади поперечного сечения тела, его обтекаемости, плотности и вязкости среды, а также относительной скорости тела.

Изменяя площадь поперечного сечения тела, можно изменить и действие среды. Так, у лыжника при спуске с горы в высокой стойке эта площадь почти в 3 раза больше, чем в низкой стойке. Значит, сопротивление воздуха при спуске можно изменять почти в 3 раза. Принимая в воде позы с лучшей обтекаемостью, нужно уменьшать сопротивление воды. Как известно, с увеличением скорости передвижения сопротивление воды или воздуха резко увеличивается (примерно пропорционально квадрату скорости).

Нормальная реакция среды – это сила, действующая со стороны среды на тело, расположенное под углом к направлению его движения. Она зависит от тех же факторов, что и лобовое сопротивление.

Нормальная реакция среды при гребке направлена перпендикулярно силе лобового сопротивления.

С нормальной реакцией среды как с подъемной силой приходится считаться (например, пловцу во время продвижения по дистанции, прыгуну на лыжах с трамплина во время полета в воздухе).

Силы трения. Абсолютно гладких поверхностей опоры практически не существует. Между телом человека и опорой при движении по ней всегда возникает трение.

Сила трения – это мера противодействия движущемуся телу, направленного по касательной к соприкасающимся поверхностям. Сила трения считается равной произведению нормального давления на коэффициент трения. **Коэффициент трения** – это отношение силы трения к силе нормального давления (прижимающей силе), которая прижимает трущиеся тела друг к другу.

Это справедливо для трения скольжения, когда одно тело перемещается относительно другого, не теряя контакта с ним, скользит по нему. Сила трения в этом случае динамическая. Если же одно тело не может скользить по-другому, сдвигающая сила не может сдвинуть его, значит, сила трения удерживает тело в неподвижности. Такая сила трения называется статической (или силой трения скольжения покоя). По третьему закону Ньютона статическая сила трения равна сдвигающей силе.

Предел, до которого может увеличиваться статическая сила трения, называется предельной силой трения скольжения покоя. Она равна произведению нормального

давления на статический коэффициент трения скольжения. Следовательно, статический коэффициент трения скольжения равен отношению статической силы трения скольжения (предельной) к силе нормального давления; можно сказать, иначе: это отношение сдвигающей силы к прижимающей.

Механизм трения скольжения объясняют зацеплением неровностей поверхностей скользящих тел друг за друга (механическая теория), а также молекулярным сцеплением, когда гладкие поверхности обеспечивают плотный контакт тел (молекулярная теория). При смазке неровности поверхности «сглаживаются».

Второй вид трения, отличающийся от трения скольжения, проявляется при качении, когда точки соприкосновения тел все время сменяются (точки покрышки велосипеда и места его опоры на дорожке). Механизм трения качения объясняют деформацией соприкасающихся тел. Колесо как бы вдавливаются в опору, образуя ямку, через край которой колесу все время приходится перекатываться. Коэффициент трения качения вычисляют как отношение момента движущей силы к моменту трения (– сила нормального давления, умноженная на ее плечо относительно края ямки – k_k). Плечо силы N , затрудняющей «выкатывание» из ямки, и есть коэффициент трения качения (его размерность – L).

Третий вид трения проявляется, когда между трущимися поверхностями имеется неподвижная точка. Это трение верчения – движение происходит вокруг этой точки. Так, стопа при отталкивании от опоры, если на подошве обуви нет шипов, вращается относительно грунта.

Силы трения, направленные навстречу движению, тормозят его. Они вызывают отрицательное ускорение, совершают отрицательную работу. Силы трения, направленные одинаково с движением, не создают положительного ускорения, не совершают положительной работы, а только не дают точке контакта движущегося тела «проскальзывать» назад.

Силы внутренние относительно тела человека. Силы внутренние относительно тела человека возникают вследствие взаимодействия частей биомеханической системы тела. Они проявляются, в частности, как силы притягивания и отталкивания внутри тела. В абсолютно твердом теле такие силы взаимно уравновешены, деформации и напряжения не возникают. В теле человека внутренние силы могут действовать статически, вызывая только напряжения в деформированных тканях, и динамически, вызывая движение звеньев и изменяя позу.

Различают внутренние силы активного действия (мышечная работа) и пассивные механические силы (пассивного взаимодействия).

Силы мышечной тяги, приложенные к костям скелета, служат источниками энергии движения, сохраняют необходимые позы, управляют движениями, изменяют взаимодействие тела человека с окружающими физическими объектами (среда, опора, снаряды и другие люди). Управляя своими движениями, человек учится управлять (в известных пределах) и внешними силами, а значит, эффективно управлять своими движениями в конкретных условиях внешнего окружения. Силы мышечной тяги правильно также называть усилиями. Силы пассивного взаимодействия в отличие от сил мышечной тяги не вызваны непосредственно физиологической активностью, биологическими процессами, хотя в некоторой степени и зависят от них. При наличии опоры звенья тела человека всегда своим весом действуют на удерживающие их соседние звенья. При ускорениях звеньев к статическому весу прибавляются (или вычитаются из него) и силы инерции звеньев. Как противодействие статическому и динамическому весу имеются соответствующие реакции опоры. Вследствие упругих деформаций возникают упругие силы, преимущественно в мягких тканях. Наконец, имеются и силы

трения, обусловленные взаимным смещением органов и тканей в местах их контакта, в суставах, между мышцами, внутри мышц и т. п.

Силы веса, статических реакций опоры и трения невелики по сравнению с силами мышечной тяги, хотя статические моменты (например, в спортивной гимнастике, особенно на снарядах) и могут быть значительными. Зато силы инерции и упругой деформации могут быть очень большими.

В статике встречаются все перечисленные силы, кроме сил инерции. В движениях силы инерции обуславливают увеличение динамических весов, опорных реакций, упругих сил и трения. Поскольку все эти силы есть проявление механических реакций системы звеньев тела, Н. А. Бернштейн назвал их условно «реактивными» силами в теле человека. В форме давления, толчков, рывков, отдачи «силовые волны» проходят по звеньям тела, сотрясают их, отражаются, сталкиваются, взаимно усиливаясь или угасая. Эти «волны» не могут быть предусмотрены, бывают очень велики, вносят большие помехи в управление движениями. Однако по мере совершенствования управления они входят в основную динамическую структуру и способствуют ее стабилизации, появлению динамической устойчивости движений.

Движения звеньев происходят с ускорениями центростремительными (неизбежны при суставных движениях) и тангенциальными (при разгоне звена – положительные, при торможении – отрицательные). Поэтому силы инерции имеются при движениях всегда. Это самая многочисленная группа сил внутреннего пассивного взаимодействия, ведущая среди реактивных сил.

Поскольку в любом движении, тормозя звено и останавливая его, растягиваются мышцы-антагонисты, то всегда возникают упругие силы (деформация соединительнотканых и мышечных элементов). При больших ускорениях инерционные и упругие силы особенно велики. При так называемой «упругой отдаче» роль этих двух групп сил становится ведущей в движениях.

Таким образом, внутренние силы пассивного (в биологическом смысле) взаимодействия играют роль не только связей, ограничивающих движения; в определенных условиях они используются как движущие силы, повышающие эффективность мышечной работы.

Роль сил в движениях человека. В механике изучаются законы действия механических сил независимо от их источников, их происхождения. В биомеханике же существенно, каковы источники сил и, следовательно, какова «цена» используемой силы для организма человека. Все силы, приложенные к его двигательному аппарату, составляют систему сил внешних и внутренних. Система внешних сил проявляется чаще как силы сопротивления. Для преодоления сопротивления затрачивается энергия движения и напряжения мышц человека. Различают рабочие и вредные сопротивления. Преодоление рабочих сопротивлений нередко составляет главную задачу движений человека (например, в преодолении веса штанги и заключается цель движений со штангой). Вредные сопротивления поглощают положительную работу; они, в принципе, неустраняемы (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 силами и соответствующими внешними силами и совершает как бы две части работы: а) работу, направленную на преодоление всех сопротивлений (рабочих и вредных), и б) работу, направленную на сообщение ускорений своему телу и перемещаемым внешним объектам.

В биомеханике сила действия человека – это сила воздействия на внешнее физическое окружение, передаваемого через рабочие точки тела. Рабочие точки, соприкасаясь с внешними телами, передают движение (количество движения, а также кинетический момент) и энергию (поступательного и вращательного движения) внешним телам.

Тормозящими силами, входящими в сопротивление, могут быть все внешние и внутренние силы, в том числе и мышечные. Какие из них будут играть роль вредных сопротивлений, зависит от условий конкретного упражнения. Только реактивные силы (силы реакции опоры и трения) не могут быть движущими силами; они всегда остаются сопротивлениями (как вредными, так и рабочими).

Все силы независимо от их источника действуют как механические силы» изменяя механическое движение. В этом смысле они находятся в единстве» как материальные силы: можно производить (при соблюдении соответствующих условий) их сложение, разложение, приведение и другие операции.

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

По мере совершенствования движений становится возможным лучше использовать мышечные силы. Техническое мастерство проявляется в повышении роли внешних и пассивных внутренних сил как движущих сил. Обеспечивается не только экономность (сбережение сил), экономичность (высокий к.п.д. мышечных сил), но и высокий максимум мышечных сил, а также значительная быстрота достижения этого максимума при движении.

Задачи совершенствования движений, повышения их эффективности в самом общем виде сводятся к повышению результата ускоряющих сил и снижению действия вредных сопротивлений. Это особенно важно в спорте, где все движения направлены на рост спортивного результата.

Лекция 6

БИОМЕХАНИКА ФИЗИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ

1. Понятие о двигательных качествах.
2. Биомеханическая характеристика силовых качеств.
3. Биомеханическая характеристика скоростных качеств. Понятие о скоростных качествах.
4. Биомеханическая характеристика выносливости.
5. Биомеханическая характеристика гибкости.

1. 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, в частности, 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.

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

При некоторых значениях задаваемых параметров (оптимальном весе штанги или ядра, оптимальной длине дистанции и пр.) спортсмен может показать самые большие величины F_m , v_m и t_m . Такие величины называют лимитными (от лат. *limitis* – граница, предел) показателями соответствующего движения (бега, плавания брассом, прыжка вверх с места и т. п.) и обозначают с помощью подстрочных символов m (от латинского выражения *maximum maximum* – наивысший среди максимальных). Так, например, F_{mm} и v_{mm} при толкании ядра – наивысшие сила и скорость, зарегистрированные при толкании ядер разного веса.

Часто интересно знать, как зависят между собой лимитные значения F_{mm} , v_{mm} и t_{mm} , с одной стороны, и величины F_m , v_m и t_m в отдельных двигательных заданиях – с другой. Например, есть ли связь между максимальной силой разгибателей ног (F_{mm}) и скоростью отталкивания в прыжках (v_m), т. е. будут ли более сильные спортсмены выше прыгать? Или зависят ли результаты в беге на 800 м (t_m) от лимитных значений скорости бега (v_{mm})? Подобного рода зависимости (F_{mm} – v_m , F_{mm} – t_m , v_{mm} – t_m и др.) называют непараметрическими.

2. Биомеханическая характеристика силовых качеств

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) и 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.

Силовые качества характеризуются максимальными величинами силы действия (F_{mm}), 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:

1. Собственно-силовые (статическая сила);
2. Быстрая сила (скоростно-силовые).

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. Кроме того, на проявления силы действия в решающей мере влияют физиологические и психологические факторы.

Зависимость силы действия от параметров двигательных заданий. Связь «сила действия – скорость». В односуставных движениях сила и скорость находятся в обратно пропорциональной зависимости: чем выше скорость, тем меньше проявленная сила, и наоборот.

В многосуставных движениях «на краях» зависимости (т. е. в зонах очень больших сил или очень больших скоростей) характер зависимости подчас меняется. Напри-

мер, при метании с места ядер разного веса оказывается, что ядро весом 150 г спортсмены высокой квалификации метают дальше (т. е. выбрасывают его с большей скоростью), чем более легкое ядро (шарик) – весом 80 г. Наиболее вероятная причина этого – стремление предохранить руку от травмы. Однако в принципе, в общих чертах обнаруженная на отдельных мышцах зависимость между силой и скоростью сокращения проявляется и в сложнокоординированных движениях человека.

Связь «сила действия – направление движения». Сила действия в уступающих движениях может значительно (до 50–100%) превосходить максимальную изометрическую силу человека. Например, сила действия, проявляемая при приземлении с большой высоты, больше той, которую спортсмен может проявить в отталкивании. Очень часто максимальные величины силы действия проявляются именно в уступающих фазах движения. Сила действия в уступающем режиме зависит от скорости. Чем быстрее происходит растягивание активных мышц, тем большую силу они проявляют.

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

Первая: с изменением положения сустава изменяется длина мышц, а наименьшие величины натяжения мышца проявляет при своем наибольшем укорочении.

Вторая: изменение плеча силы тяги мышцы относительно оси вращения. При изменении суставного угла плечо тяги мышц меняется, в результате меняется и создаваемый ими вращательный момент силы.

Изменение длины мышц и плеч сил мышечного натяжения обуславливают то, что для каждого односуставного движения существует определенная зависимость между суставным углом и максимальной силой действия. Когда в движении участвуют многосуставные мышцы (а в спорте так бывает в большинстве случаев), 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.

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.

Наиболее точно определить, какая мышца и в какой степени принимает участие при выполнении того или иного упражнения, можно, зарегистрировав ее электрическую активность. В настоящее время во многих видах спорта составлены «электромиографические карты» активности мышц при выполнении как соревновательного, так и специальных упражнений.

Выбор разных положений тела при выполнении силовых упражнений (например, подъемы прямых ног в висе или в положении лежа на спине, упражнения для разгибателей ног, выполняемые в глубоком приседе или полуприседе) приводит к тому, что наибольшее натяжение активных мышц происходит при разной их длине. Экспериментально показано (Л. М. Райцин), 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 опасно мышцы и связки какого-либо сустава).

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.

Специальными, как известно, 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) акцентируемому участку рабочей амплитуды движения, в) величине силы действия (или мышечной тяги), г) скорости 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, поднимание бедром диска от штанги (или другого отягощения) в положении стоя. Однако в этом упражнении ни амплитуда движения, ни, что еще более важно, акцентируемый участок движения не соответствуют таковым в беге и прыжках. Там акцентируемый участок работы мышц-сгибателей бедра – в самом начале «выноса бедра» вперед при угле в тазобедренном суставе примерно 210° , а в поднимании бедром отягощения – при угле около 90° . Существует большое число специальных упражнений, где те же мышечные группы развиваются в условиях, гораздо более близких к 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 двигательные качества и техника движений, данное методическое направление получило название метода сопряженного воздействия (В. М. Дьячков).

3. 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 утомление 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, проходимым за один цикл (длиной «шага»):

$$v=fl,$$

где v – скорость, f – частота, l – длина «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 скорости передвижения у разных спортсменов могут быть значительные различия в длине и частоте шагов.

Динамика скорости. Динамикой скорости называется изменение скорости движущегося тела, то есть функция вида: $v=f(t)$ либо $v=f(l)$, где v – скорость, t – время, l – путь, f – знак функциональной зависимости.

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 третьи 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. Градиент 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: dF/dt .

Для численной характеристики градиента силы используют обычно один из следующих показателей:

- 1) время достижения силы, равной половине максимальной ($t_{0,5max}$). Нередко именно этот показатель называют градиентом силы (такое словоупотребление удобно своей краткостью, но не вполне точно);
- 2) частное от деления F_{max}/t_{max} . Этот показатель называют скоростно-силовым индексом.

В тех случаях, когда речь идет о перемещении собственного тела спортсмена (а не снаряда), удобно пользоваться так называемым коэффициентом реактивности (по Ю.В. Верхошанскому): $F_{max} / t_{max} / \text{вес тела спортсмена}$.

Скорость нарастания силы играет большую роль в быстрых движениях. Время, необходимое для достижения максимальной силы (t_{max}), 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.

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

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 не известно, что именно надо делать в ответ на сигнал и каким будет этот сигнал, – называются сложными.

В двигательных реакциях различают:

- а) 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);

б) премоторную фазу (электромеханический интервал – ЭМИ) – от появления электрической активности мышц до начала движения. Этот компонент наиболее стабилен и составляет 25-60 мс;

в) 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 компонента 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 (правда, на спортсменах высокого класса такие исследования пока не проводились; быть может, они и умеют это делать). 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 прозойти 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; или 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».

Аналогичные закономерности существуют и в других спортивных играх.

4. 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 и усилении; 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 12,0 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 – t_m ; 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.

Как уже говорилось, двигательные задания могут отличаться по задаваемым условиям (параметрам) выполнения. В видах спорта циклического характера параметром является длина дистанции (гораздо реже задается время работы – часовой бег, часовая езда на велосипеде и т. п.). В результате возникают три зависимости: дистанция – время, скорость – время и дистанция – скорость.

Работа со скоростью ниже критической может продолжаться очень долго – часами. Превышение же этой скорости быстро приводит к снижению работоспособности.

Утомление и его биомеханические проявления. Утомлением называется вызванное работой временное снижение работоспособности.

Существуют 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 (например, скорость плавания) на прежнем уровне;

2) фазу декомпенсированного утомления – в ней спортсмен, несмотря на все старания, не может сохранить необходимую интенсивность выполнения задания.

Утомление проявляется в специфических субъективных ощущениях, объективных физиологических и биохимических сдвигах (например, в уменьшении систоличе-

ского выброса, сдвиге рН крови в кислую сторону). Проявляется оно очень заметно и в биомеханических (двигательных) показателях.

В фазе компенсированного утомления скорость передвижения (или другой показатель интенсивности двигательного задания) не снижается, но происходят изменения в технике движений. Снижение одних показателей компенсируется ростом других. Наиболее часто уменьшается длина «шагов», что компенсируется возросшей их частотой. Особенно четко эта закономерность проявляется при задании удерживать как можно дольше постоянную скорость передвижения (например, при плавании за механическим лидером или светолитером).

Под влиянием утомления снижаются скоростно-силовые показатели утомленных мышц. Такое снижение может до известной степени компенсироваться сознательным или бессознательным изменением техники движения.

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 (в частности, скоростно-силовых) 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.

Выносливость и способы ее измерения. Основным мерилom выносливости считают время, в течение которого человек способен поддерживать заданную интенсивность двигательного задания (В.С. Фарфель, 1973).

Существуют два типа показателей выносливости – явные и латентные. Явные (абсолютные) – без учета развития силовых или скоростных качеств; латентные (относительные) – с учетом развития названных качеств, когда их влияние каким-либо образом исключается.

Примерами латентных показателей выносливости могут быть:

1. Коэффициент выносливости – отношение времени преодоления всей дистанции ко времени преодоления какого-либо короткого отрезка
2. Запас скорости – разность между средним временем преодоления эталонного отрезка при прохождении всей дистанции и лучшим временем на этом отрезке. Чем меньше запас скорости, тем выше выносливость. С увеличением дистанции запас скорости увеличивается.

Проблема экономизации спортивной техники. Одна и та же работа для разных спортсменов связана с неодинаковым расходом энергии. Экономичность работы нередко оценивают с помощью коэффициентов, связывающих величины выполненной работы с величинами затраченной при этом энергии. Наиболее часто применяют три таких коэффициента.

1. Валовой коэффициент (брутто-коэффициент) экономичности работы:

$$K_1 = A/E,$$

где А – выполненная механическая работа (в джоулях), Е – затраченная энергия (в джоулях).

2. Нетто-коэффициент; в данном случае из величины энерготрат при выполнении работы вычитают величину энерготрат в состоянии покоя (в условиях основного обмена или в рабочей позе):

$$K_2 = A / (E - E_n),$$

где E_n – энергия, затрачиваемая организмом в состоянии покоя.

3. Дельта (Δ) – коэффициент; здесь сравнивают величины выполненной работы и энерготрат в двух двигательных заданиях разной интенсивности:

$$K_3 = (A_2 - A_1) / (E_2 - E_1),$$

Где A_1 и A_2 – величины работы (в джоулях), E_1 и E_2 – энерготраты (в джоулях). Например, определяются энерготраты при педалировании на велоэргометре с мощностью 50 и 250 Вт в течение 100 с. Выполненная работа равна 5 тыс. джоулей (A_1) и 25 тыс. джоулей (A_2).

Все эти коэффициенты введены по аналогии с коэффициентом полезного действия (к.п.д.), а K_1 формально равен ему.

В циклических локомоциях для характеристики экономичности техники обычно используют не указанные выше коэффициенты, а так называемую константу пути – величину энерготрат, приходящуюся на 1 метр пути.

Экономичность техники зависит от двух групп факторов: 1) физиологических и биохимических (в частности, от того, аэробными или анаэробными процессами обеспечивается поставка энергии) и 2) биомеханических.

Биомеханические основы экономизации спортивной техники. Особенности спортивной техники в упражнениях, требующих большой выносливости. 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:

- а) устранением ненужных движений;
- б) устранением ненужных сокращений мышц;
- в) уменьшением внешнего сопротивления;
- г) уменьшением внутрицикловых колебаний скорости;
- д) выбором оптимального соотношения между силой действия и скоростью рабочих движений;
- е) выбором оптимального соотношения между длиной и частотой шагов.

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.

Рекуперация энергии в движениях человека осуществляется двумя способами.

Во-первых, кинетическая энергия движения может переходить в потенциальную энергию гравитации (сил тяжести). 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 подъем.

Повышение экономичности спортивной техники – основное направление ее совершенствования в видах спорта, требующих большой выносливости. Определенное значение имеют и другие факторы, в частности предупреждение локального утомления отдельных мышечных групп, что может наблюдаться, если нагрузка на какую-либо мышечную группу становится особенно велика.

5. 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. «гони» – угол и «метр» – мера).

Наиболее детальный способ измерения гибкости – так называемый глобографический. 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. Экспериментально показано, что дефицит активной гибкости может быть уменьшен 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»). Спортсмены с большими показателями гибкости имеют преимущество в спортивной технике: они выполняют основное спортивное движение с большей амплитудой.

Лекция 7

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ И ГРУППОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОТОРИКИ (ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ БИОМЕХАНИКА)

1. Телосложение и моторика человека.
2. Онтогенез моторики.
3. Онтогенез моторики в отдельные возрастные периоды.
4. Влияние возраста на эффект обучения и тренировки.
5. Особенности моторики женщин.
6. Двигательные предпочтения.

1. Телосложение и моторика человека

Дифференциальной биомеханикой называется раздел биомеханики, изучающий индивидуальные и групповые особенности движений и двигательных возможностей людей. Не будет ошибкой сказать «изучающий индивидуальные и групповые особенности двигательных качеств и двигательной деятельности», «изучающий особенности моторики».

Двигательные возможности людей и индивидуальные особенности спортивной техники в значительной мере зависят от особенностей телосложения, то есть от:

- тотальных размеров тела (длины, массы, поверхности, окружности звеньев);
- пропорций тела – соотношения размеров отдельных звеньев;
- конституциональных особенностей.

Тотальные размеры тела у людей весьма различны. При одинаковом уровне тренированности различными будут и двигательные возможности людей. Существуют теоретически предсказанные изменения двигательных возможностей и некоторых морфофункциональных показателей человека при увеличении тотальных размеров тела.

При оценке мощности работы следует учитывать, что амплитуда и время движений прямо связаны с тотальными размерами тела. Следовательно, при увеличении размеров тела, с одной стороны увеличиваются перемещения (амплитуда рабочих движений), а с другой стороны, возрастает их длительность и таким образом скорость локомоций не изменяется. Но возрастает мощность работы, так как с той же скоростью перемещается более массивное тело.

Пропорции и конституциональные особенности тела влияют на выбор вида спорта специализации, варианта спортивной техники, а также и тактики ведения спортивной борьбы.

2. Онтогенез моторики

Онтогенез моторики – изменение движений и двигательных возможностей человека на протяжении его жизни.

Роль созревания и научения в онтогенезе моторики. Совершенствование двигательных возможностей в процессе возрастного развития происходит под влиянием двух факторов – созревания и научения. Взаимодействие этих факторов может иметь различный характер: нейтральный, синергический, антагонистический. При синергическом взаимодействии суммарный эффект может быть больше, чем просто сумма факторов.

Созревание – это наследственно обусловленные изменения анатомического строения и физиологических функций организма, происходящие в течение жизни человека: изменение размеров и формы тела, изменения в процессе полового созревания, старения и другие. Указывается, что в раннем возрасте огромное значение для онтогенеза моторики имеет созревание нервно-мышечного аппарата. В основных чертах двигательный аппарат ребенка формируется к 2–2,5 годам

Научение – освоение новых движений или совершенствование в них под влиянием специальной практики, обучения или тренировки.

Не всегда можно однозначно ответить на вопрос, что лежит в основе того или иного изменения двигательных показателей – созревание или научение, особенно в возрасте до трех лет. При исследовании близнецов установлено, что ребенок, находящийся в обществе других людей обучается брать предметы, сидеть, стоять и ходить в определенные сроки, независимо от того, учили его этому или нет. Наблюдения показывают также, что независимо от способа пеленания – тугого или свободного – дети начинают переворачиваться, стоять и ходить в определенные сроки.

Существуют две крайности при оценке действия созревания и научения. Приверженцы одной теории отрицают роль созревания; другие отрицают роль научения. Так, с одной стороны, известно, что «естественные формы движений у человека не являются врожденными, а представляют собой продукт воспитания и научения» (Р.Я. Каунова, 1969. Формирование естественных форм движений у слепоглухонемых детей). С другой стороны, существует огромное число свидетельств о том, что в раннем возрасте, как ребенка ни учи, он начнет сам сидеть, стоять, ходить приблизительно в том возрасте, в каком начали это делать его родители.

При оценке роли созревания и научения истина состоит в том, генетический фактор (созревание) может проявиться только лишь при необходимых внешних условиях (в том числе научение). С другой стороны, при отсутствии соответствующей генетической информации, признак не может развиваться даже при самых оптимальных условиях. В связи с этим интересны результаты исследования биологического (строение тела, тип ЦНС и ее параметры) и педагогического (упражнения скоростно-силовые, на выносливость, гибкость, ловкость) факторов в многолетнем развитии физических способностей спортсмена. Л.В. Волков (1978) обнаружил, что наибольшее воздействие педагогического фактора на развитие скоростно-силовых способностей наблюдается в 8–12 и 14–15 лет, биологического – в 10–11 лет.

Существуют указания на то, что в пубертатном периоде снижается генетическая детерминированность некоторых морфофункциональных и повышается средовое влияние на их развитие (В.Н. Власов, 1972). Выявлено (А.И. Клиорин, 1969), что в период полового созревания возможно формирование телосложения, определяемого характером спортивной деятельности, позднее спорт уже не сказывается в такой степени на конституции организма. Вместе с тем, большие физические нагрузки в период полового созревания могут нарушить биологию индивидуального развития (Л.В. Волков, 1983).

Таким образом, во-первых, научение эффективно лишь тогда, когда достигнута необходимая степень созревания (анатомо-физиологической зрелости) организма. Во-вторых, вовсе без обучения (хотя бы в виде возможности наблюдать правильный образец) овладение новыми движениями невозможно.

Созревание у детей проявляется, в частности, в их росте, то есть увеличении тотальных размеров тела. У детей картина сдвиги, происходящие при этом в моторике, несколько отличаются от вышеописанных. Так у детей отмечается параллельный рост максимальной и относительной силы. Аналогичная картина отмечается и в отношении других показателей моторики, которые изменяются пропорционально квадрату линейных размеров тела – у детей школьной возраста такие показатели изменяются мало. У детей одного возраста, но с разными размерами тела зависимость спортивных результатов от длины тела, в принципе, такая же, как у взрослых. Но большая длина тела может свидетельствовать о более раннем созревании, которое сопровождается значительными положительными сдвигами моторики. Поэтому у мальчиков в 14 лет существует прямая зависимость между длиной тела и максимальной скоростью бега. В 11 и 18 лет такой зависимости нет.

Если сравнивать детей разного возраста, но имеющих одинаковую длину тела, то старшие будут иметь более высокие показатели моторики.

Рост связан с изменением пропорций тела, что также влияет на показатели моторики. В частности, если сравнивать детей разного возраста, но с одинаковой длиной тела, то можно обнаружить, что относительное увеличение длины конечностей приводит к увеличению амплитуды движений.

Двигательный возраст. Двигательный возраст характеризуется показателями физического развития ребенка в спортивном упражнении с учетом соматотипа и паспортного возраста (Дорохов Р.Н., Губа В.П., Петрухин В.Г., 1994; Дорохов Р.Н., Губа В.П., 1995; Губа В.П., 2000). Если измерить результаты в каком-либо упражнении (двигательном задании) у большой группы детей разного возраста, то можно определить

средний уровень достижений для каждого календарного возраста. Затем, зная результат какого-либо ребенка, можно определить его двигательный возраст.

Дети одного календарного (паспортного) возраста могут иметь различный уровень достижений в одном и том же двигательном задании. У акселератов двигательный возраст опережает календарный, у ретардантов – наоборот. Полные ретарданты и акселераты встречаются редко. Акселераты в одних заданиях могут быть ретардантами в других.

Если ребенок попадает в неблагоприятные условия (болезнь и т.п.), то темпы развития моторики у него явно замедляются. Если вредные влияния не были чрезмерными, то после их устранения двигательные возможности развиваются ускоренными темпами и ребенок возвращается в свой канал развития. Это свойство, присущее и другим живым организмам, называется канализированием или гомеорезом (поддержание постоянства в развивающихся системе).

Прогноз развития моторики. Задача прогноза индивидуальной двигательной одаренности одна из самых интересных и трудных в спортивном отборе. Для ее научного решения проводят исследования в двух направлениях:

- 1) изучение стабильности показателей моторики;
- 2) изучение наследственных влияний.

При изучении стабильности определяют у одних и тех же детей различные показатели на протяжении ряда лет (10 и более). Значения признака в детском возрасте называются ювенильными, в возрасте, для которого они определяются (чаще всего у взрослых) – дефинитивными. Для оценки стабильности рассчитывают коэффициент корреляции между ювенильными и дефинитивными значениями показателя – коэффициент стабильности. Считается, что весьма стабильны показатели выносливости.

Одним из основных методов изучения наследственных влияний является исследование близнецов.

3. Онтогенез моторики в отдельные возрастные периоды

Онтогенез моторики в отдельные возрастные периоды. Основные результаты одного из наиболее значительных исследований по этому вопросу изложены в монографии В.К. Бальсевича (2000).

Пренатальный период. Первые движения у плода регистрируются на 8-й неделе жизни. Начиная с 5-го месяца у плода формируются основные безусловные рефлексы, характерные для новорожденного. Развитие движений идет от головы к нижним конечностям. Сначала появляются движения в области головы, затем движения рук и туловища, наконец, движения ног. За месяц до рождения двигательная активность плода снижается.

Существует прямая связь между двигательной активностью плода и ребенка в младенческом возрасте.

Младенческий возраст (до 1 года). У новорожденного существуют 2 типа движений: а) хаотические (синкинезии по Н.А. Бернштейну); б) безусловные рефлексы, отличающиеся строгой координацией (сосательный, хватательный, переступания, плавательный). В дальнейшем безусловные рефлексы угасают.

У детей, воспитывающихся в обычных условиях, существует определенная последовательность овладения основными движениями. Значительная двигательная ретардация говорит о задержке психомоторного развития. Последовательность овладения основными движениями, приведенная на С. 226 учебника биомеханики Д.Д. Донского и В.М. Зациорского (1979), отличается от существующих в нашей стране педиатрических норм, по которым считается, что движения осваиваются детьми несколько раньше.

Приблизительно до 1,5 лет двигательное и психическое развитие ребенка идет параллельно и развитие движений имеет огромное значение для психического развития. Именно в данном возрасте благодаря двигательному опыту закладываются основы знаний о пространстве, времени, причинности.

Преддошкольный возраст (1–3 года). И.М. Сеченов говорил: «Вооруженный умением смотреть, слушать, осязать, ходить и управлять движениями своих рук ребенок перестает быть, так сказать, прикрепленным к месту и вступает в эпоху более свободного и самостоятельно общения с внешним миром». В этот период ребенок должен овладеть специфически человеческими движениями и формами поведения, правильными действиями с различными предметами. В этом возрасте происходит формирование не только движений рук. Совершенствуется моторика в целом и прежде всего ходьба (к 2 годам в общих чертах заканчивается). Основным способом обучения в этом возрасте является подражание.

Дошкольный возраст (3–7 лет). Дети этого возраста овладевают большим количеством различных движений, но эти движения еще недостаточно координированы.

Ребенок впервые овладевает орудийными движениями, в которых результат достигается посредством орудия, инструмента.

У младших дошкольников (3–4 года) формируется навык бега, появляется фаза полета, «сдружественные» движения рук при ходьбе и беге. К 7 годам такие движения отмечаются у 95% детей.

Дети овладевают прыжками, метаниями и действиями с мячом. После 4-х лет появляются устойчивые двигательные предпочтения. Начиная с этого возраста возможно тестирование детей с установкой на лучший результат.

В этот период целесообразно начинать осваивать основы техники многих спортивных движений. При соответствующем подходе дети к 7 годам умеют кататься на коньках, лыжах, 2-колесном велосипеде, плавать, метать и ловить предметы, бегать, прыгать, выполнять простые гимнастические упражнения.

Школьный возраст (7–17 лет). К 12–13 годам заканчивается созревание двигательного анализатора. С этого возраста координация движений подростков такая же, как у взрослых. Во многих сложнокоординационных видах спорта подростки добиваются очень высоких результатов. Препятствием здесь служит не возраст, а необходимая длительность подготовки.

Продолжается рост двигательных качеств и улучшение результатов в различных двигательных заданиях. Эти изменения происходят неравномерно и для разных двигательных качеств по-разному. Исследования Ф. Казаряна (1975), А.А. Гужаловского (1979) и других авторов показали наличие сенситивных периодов развития двигательных качеств.

Особо значительные изменения в моторике детей связаны с периодом полового созревания – у девочек 11–13 лет, у мальчиков – 13–15 лет. При этом развитие различных органов и их систем происходит не одновременно и неравномерно. Чаще всего через 3 месяца после резкого увеличения длины тела возрастает мышечная масса, а через 6 месяцев вес вообще. Значительные различия моторики девочек и мальчиков отмечаются после окончания пубертатного периода.

Возраст 18–30 лет. Расцвет моторики человека. Вместе с тем, для каждого вида спорта есть свой возрастной оптимум и диапазон зоны наибольших успехов. В видах на выносливость наибольших успехов достигают, как правило, позже, чем в видах, где решающей является быстрота движений.

Возраст старше 30 лет. Примерно с этого возраста начинают снижаться двигательные возможности. Это может компенсироваться тренировкой и опытом, особенно в видах спорта со сложной тактикой. Наибольшее значение для сохранения двигательных возможностей и здоровья имеет тренировка в возрасте свыше 40 лет, когда происходит постепенное снижение функциональных возможностей организма.

4. Влияние возраста на эффект обучения и тренировки

Выше говорилось о том, что научение возможно лишь при условии достижения определенной степени зрелости организма. В жизни человека есть периоды, когда обучение движениям или тренировка определенных физических качеств осуществляется наиболее успешно. В некоторых случаях способность к научению определенным движениям или формам поведения с возрастом может быть резко снижена или утрачена. Периоды жизни, наиболее благоприятные для овладения определенными движениями, развития двигательных качеств называются сенситивными (чувствительными) периодами. Специальная тренировка в таких периодах не меняет биологических закономерностей, а переводит их протекание на более высокий уровень.

Существует и такая форма обучения, как запечатление (импринтинг). Ее суть заключается в том, что соответствующая двигательная реакция появляется сразу, полностью, в готовом виде, если стимул, вызывающий эту реакцию, предьявляется в строго определенный период жизни.

Сейчас вернемся к сенситивным периодам развития двигательных качеств. По этому вопросу существует весьма обширная литература. Расходясь в конкретных сроках сенситивных периодов развития различных физических качеств, все авторы единодушны в том, что наибольшие темпы естественного прироста этих качеств отмечаются в возрасте 7–17 лет. Наиболее полные исследования школьников по этому вопросу были проведены Ф.Г. Казаряном и А.А. Гужаловским. Первый автор исследовал возрастную динамику развития силы у мальчиков и обнаружил, что наибольшие темпы прироста силы мышц отмечаются с 14 лет. Более полным является исследование А.А. Гужаловского (1979), который выявил наличие периодов медленного, умеренного и быстрого развития физических качеств у мальчиков и девочек. В частности, наиболее высокие темпы прироста скоростно-силовых качеств у мальчиков отмечены в 14–15 лет, у девочек – с 9 до 12 лет; абсолютной силы – в 16–17 лет независимо от пола. Этот же автор обнаружил, что у 50% сельских школьников Белоруссии кривая динамики физических качеств смещена в сторону увеличения возраста.

5. Особенности моторики женщин

Двигательные возможности (моторика) мужчин и женщин имеют определенные различия, которые обусловлены биологическими и социально-психологическими причинами.

Эти различия накапливаются постепенно. Уже в 3 года мальчики превосходят девочек в двигательных заданиях, требующих проявления быстроты и силы. У девочек позже устанавливаются навыки метания. Но есть основания считать, что это вызвано не биологическими, а социально-психологическими факторами, поскольку девочки превосходят мальчиков в выполнении двигательных заданий, типичных для их игр (прыжки со скакалкой, например).

В период полового созревания девочки практически сравниваются с мальчиками в выполнении двигательных заданий, требующих предельных проявлений скоростно-силовых качеств и выносливости, но затем различия между полами достигают максимума.

Наиболее существенная разница в развитии моторики мужчин и женщин состоит в том, что после окончания пубертатного периода двигательная подготовленность юношей продолжает расти еще несколько лет даже без специальной тренировки, а у девушек, если они не тренируются, рост результатов прекращается.

Во всех возрастных периодах женщины не уступают мужчинам по координационным возможностям, а по гибкости превосходят их. Как правило, девушки лучше выполняют движения выразительного характера.

У женщин медленнее происходит прирост результатов в силовых упражнениях и упражнениях на выносливость. Результаты женщин в среднем ниже, чем результаты мужчин на 10–15% (в беге, плавании, коньках, велосипеде).

6. Двигательные предпочтения

Двигательные предпочтения. Они же двигательные асимметрии. У большинства людей существуют стойкие двигательные предпочтения в выполнении движений определенной рукой, ногой, в одну из сторон. Двигательные асимметрии существуют как при выполнении спортивных упражнений, так и в бытовых движениях. Двигательное предпочтение одной из сторон тела, одной из конечностей, называется латеральное доминирование. Предпочитаемая сторона или конечность называется доминантной. Люди, у которых латерального доминирования нет, называются амбидекстриками (обе правые).

Считается, что 25% людей рождаются праворукими, 25% – леворукими и 50% – амбидекстриками. Затем под влиянием воспитания все амбидекстрики и часть левшей становятся правшами. В результате среди взрослых 95% правши.

У 75% доминантным является правый глаз. У большинства ведущая (маховая) правая нога. Повороты большинство людей предпочитает выполнять в левую сторону.

В своем большинстве левши приближаются к амбидекстрикам, что объясняется более широким использованием правой руки в раннем детстве.

Латеральное доминирование устанавливается постепенно в процессе развития ребенка. Воспитание может «затушевать» использование своей стороны в движениях. Поэтому при обучении асимметричным движениям бывает полезно выявить предпочитаемую сторону поворота.

В единоборствах и спортивных играх левши и особенно амбидекстрики имеют некоторое преимущество. Это объясняется главным образом некоторой непривычностью ведения поединка с ними. Среди сильнейших боксеров и фехтовальщиков доля левшей превышает 30%.

Опыт и специальные исследования показывают, что основы двигательной двусторонности следует закладывать уже на ранних этапах обучения спортивной технике, уделяя равное внимание выполнению всех технических действий в обе стороны. Другие двигательные предпочтения проявляются в выборе индивидуального темпа движений, их скорости, амплитуды и т.п. Многие из этих характеристик весьма стабильны и хорошо воспроизводятся через несколько лет. Считается, что они связаны с личностными качествами человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, биомеханика спорта как учебная дисциплина изучает движения человека в процессе физических упражнений. Она рассматривает действия спортсмена как системы взаимно связанных активных движений. При этом исследуются механические и биологические причины движений и зависящие от них особенности двигательных действий в различных условиях.

Системно-структурный биомеханический анализ и синтез кинематических и динамических характеристик человека дает возможность судить о рациональности, экономичности, эффективности техники выполнения движений, служит целям совершенствования двигательных возможностей исполнителей и выполняемых ими движений.

Существенной особенностью современной биомеханики является то, что множество вариантов ее реализации может быть математически описано, могут учитываться индивидуальные качества исполнителя: его антропометрия, кинематические и динамические характеристики и другие показатели. В результате чего движение выступает, как результат работы психофизиологического аппарата по реализации двигательного акта, посредством которого происходит взаимодействие живого существа с внешней средой.

Поэтому обобщая все выше сказанное можно сделать вывод, что основой изучения движений в каком-либо виде спорта должна выступать биомеханика, которая позволяет сформировать правильный двигательный навык с более эффективным способом выполнения упражнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Донской Д.Д., Зацюрский В.М., Биомеханика: учебник для институтов физической культуры. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – 264 с.
2. Дубровский В.И., Федорова В.Н. Биомеханика: учебник для средних. и высших учебных заведений по физической культуре. – М.: ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. – 672 с.
3. Загrevский В.И., Загrevский О.И. Биомеханика физических упражнений: Учебное пособие. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 274 с.
4. Попов Г. И. Биомеханика: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 256 с.
5. Санникова Н.И. Методика определения биомеханических показателей с использованием персонального компьютера // Теория и практика физической культуры. – 2001. – № 4. – С. 58–59.
6. Сотский Н.Б. Биомеханика: учебное пособие для студентов высших учебных заведений по специальности «Физическая культура и спорт». – Мн.: БГАФК, 2002. – 204 с.
7. Уткин В.А. Биомеханика физических упражнений: учебное пособие для ф-тов физического воспитания. – М.: Просвещение, 1989. – 205 с.
8. Шацкий Г.Б. Расчетные методы определения биомеханических характеристик тела человека и его движений: лабораторный практикум. – Витебск: Изд-во УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2004. – 57 с.

Учебное издание

БИОМЕХАНИКА

Курс лекций

Составители:

БОРЩ Денис Сергеевич

ШАЦКИЙ Григорий Борисович

Технический редактор

Г.В. Разбоева

Компьютерный дизайн

В.Л. Пугач

Подписано в печать .2021. Формат 60x84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 3,60. Уч.-изд. л. 4,83. Тираж экз. Заказ .

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

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

№ 1/255 от 31.03.2014.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

210038, г. Витебск, Московский проспект, 33.