

Министерство образования Республики Беларусь  
ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ЯНКИ КУПАЛЫ

## **ОБЩАЯ    БИОМЕХАНИКА**

Тексты лекций по курсу  
“Биомеханика физических упражнений”  
для студентов специальности П 02.02.00 –  
Физическая культура и спорт

Гродно 2000

**УДК 796.012**

**ББК 75.00**

н 15

Рецензенты: ректор Гродн. обл. ин-та повышения  
квалификации и переподготовки рук.  
работников и специалистов образования  
д-р пед. наук, проф. В.А.Барков;

канд. пед. наук, ст. преподаватель каф. физ.  
воспитания и спорта ГрГУ В.В.Руденик

Рекомендовано Советом факультета физической культуры ГрГУ

**Навойчик А.И.**

**Общая биомеханика:** Тексты лекций. – Гродно: ГрГУ,  
н 15 2000. – 61 с.

ISBN 985-417-229-5

Изложен основной учебный материал по разделу "Общая биомеханика" – составной части курса "Биомеханика физических упражнений", что позволит студентам специальности "Физическая культура и спорт" усвоить общие основы биомеханики как науки о движениях человека, создаст необходимую теоретическую базу для биомеханического обоснования физических упражнений.

**УДК 796.012**

**ББК 75.00**

ISBN 985-417-229-5

© А.И.Навойчик, 2000

## ВВЕДЕНИЕ

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

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

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

Вооружение студентов системно-структурным подходом изучения движений человека и теорией структурности движений позволит им всесторонне оценивать и видеть двигательные действия, как многоструктурные системы; выделять в движениях и правильно объяснять ученикам главные и

второстепенные элементы и системообразующие связи; рационально использовать знания по физике, анатомии, физиологии и математике для биомеханического обоснования мотивов деятельности, которые стимулируют у занимающихся интеллектуальную и двигательную активность на уроках физической культуры и в режиме дня.

Таким образом, являясь важным элементом педагогики физического воспитания, знания по биомеханике способствуют становлению грамотного специалиста в области физической культуры и спорта.

## **Лекция № 1. ВВЕДЕНИЕ В БИОМЕХАНИКУ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ**

### **1. Предмет, задачи, содержание биомеханики**

Движение лежит в основе жизнедеятельности человека. Разнообразные химические и физические процессы в клетках тела, работа сердца и течение крови, дыхание, пищеварение и выделение; перемещение тела в пространстве и частей тела относительно друг друга; сложнейшая нервная деятельность, являющаяся физиологическим механизмом психики, восприятие и анализ внешнего и внутреннего мира – все это различные формы движения материи.

Основным условием жизни вообще является взаимодействие живого организма с окружающей средой. В этом взаимодействии существенную роль играет двигательная деятельность. Только передвигаясь, животное может находить себе пищу, защищать свою жизнь, производить потомство и обеспечивать его существование. Только при помощи разнообразных и сложных движений человек совершает трудовую деятельность, общается с другими людьми, говорит, пишет и пр. Определенным образом организованная двигательная деятельность является основой физического воспитания и основным содержанием спорта.

Наиболее элементарной формой движения материи является механическое движение, т.е. перемещение тела в пространстве. Закономерности механического движения изучаются механикой. Предметом механики как науки является изучение изменений пространственного расположения тел и тех причин, или сил, которые вызывают эти изменения.

Вскрывая и описывая условия, необходимые для осуществления того или иного механического движения, механика является важной теоретической основой техники, в особенности техники построения разнообразных механизмов. Механическая точка зрения может быть использована и при изучении механических движений человека.

Двигательная деятельность человека практически осуществляется при участии всех органов тела. Однако непосредственным исполнителем функции движения является двигательный аппарат, состоящий из костей, скелета, связок и мышц с их иннервацией и кровеносными сосудами. С механической точки зрения, двигательный аппарат совмещает в себе рабочую машину и машину-двигатель.

Устройство двигательного аппарата является предметом изучения анатомии. Изучение двигательного аппарата как машины-двигателя производится, главным образом, биохимией и физиологией. Изучение его как рабочей машины является задачей особой научной дисциплины – **биомеханики**.

**Биомеханика – наука о законах механического движения в живых системах.** Она изучает движения с точки зрения законов механики, свойственных всем без исключения механическим движениям материальных тел. Специальных законов механики, особых для живых систем не существует.

Однако сложность движения и функций, живого организма требует тщательного учета анатомо-физиологических особенностей. Иначе нельзя правильно использовать законы механики в изучении сложных движений организмов. Нередко то, что выгодно с точки зрения законов механики, нецелесообразно, если учесть особенности строения и функций живого организма.

Так, с точки зрения законов механики, для большей устойчивости тела выгодно придать его центру тяжести более низкое положение. Но горнолыжник не станет применять на неровном склоне низкую стойку, т.к. она затрудняет амортизирующую работу уже растянутых мышц. Таким образом, законы механики хотя и занимают главное место в биомеханике, но не могут использоваться без знания строения и функций организма.

Как самостоятельная научная дисциплина биомеханика физических упражнений должна обогащать теорию физического воспитания, исследуя одну из сторон физических упражнений – технику. Вместе с тем, биомеханика физических упражнений непосредственно служит и практике физического воспитания. Сюда относится, например, следующее:

1) оценка физических упражнений с точки зрения их эффективности в решении определенных задач физического воспитания (ФВ);

2) изучение техники ФУ как предмета обучения с выявлением главного и ведущего в движениях, обеспечивающего высокий результат;

3) оценка качества выполнения ФУ, выявление ошибок, их причин, последствий и путей для устранения;

4) совершенствование спортивной техники с обобщением передового опыта и ее теоретическое обоснование;

5) изучение особенностей лучших образцов спортивной техники как общих для всех, так и тех, которые зависят от индивидуальных особенностей физического развития;

6) изучение функциональных показателей физического развития с целью уточнения путей повышения функциональных возможностей организма спортсмена.

Как учебный предмет биомеханика содержит главные положения учения о движениях, обобщенный и систематизированный опыт изучения общих объективных закономерностей. Овладение курсом биомеханики должно вооружить будущего педагога, тренера основами знаний о движениях человека, помочь им повысить теоретический уровень практической деятельности.

Предмет любой науки, в том числе и биомеханики, определяется специфическим объектом познания – кругом явлений и процессов, закономерностей, которые изучает та или иная наука. В этом объекте каждая из них имеет свою область изучения.

Иными словами, объект познания – это то, что конкретно изучает наука; область изучения – в каких пределах, границах.

**Объект познания биомеханики – двигательные действия человека как системы взаимно связанных активных движений и положений его тела.**

Биомеханика возникла и развивается как наука о движениях животных организмов, в частности человека.

У животных организмов движутся не только части тела – органы опоры и движения. Смещаются внутренние органы, жидкости в сосудах, воздух в дыхательной системе и т.п. Эти механические процессы в биомеханике еще почти не исследованы. Поэтому объектом познания в ней принято считать только движения тела.

В норме человек производит не просто движения, а всегда действия (Н.А.Бернштейн); они ведут к известной цели, име-

ют определенный смысл. Поэтому человек выполняет их активно, целенаправленно, управляя ими, причем все движения тесно взаимосвязаны – объединены в системы.

Следует отметить, что двигательные действия человека существенно отличаются от движений животных. В первую очередь речь идет об осознанной целенаправленности движений человека, о понимании их смысла, возможности контролировать их и планомерно совершенствовать. Поэтому сходство между движениями животных и человека завершается на чисто биологическом уровне.

В действиях человека движения выполняются обычно не все время и не всегда во всех суставах. Части его тела иногда сохраняют свое относительное положение почти неизменным. В активном сохранении положения, как и в активных движениях, участвуют мышцы. Следовательно, человек совершает двигательные действия посредством активных движений и сохраняя при необходимости взаимное расположение тел или их звеньев тела.

Системы активных движений, а также сохранение положений тела при двигательных действиях изучаются в настоящем курсе биомеханики.

***Область изучения биомеханики – механические и биологические причины возникновения движений, особенности их выполнения в различных условиях.***

Движения частей тела человека представляют собою перемещения в пространстве и времени, которые выполняются во многих суставах одновременно и последовательно. Движения в суставах по своей форме и характеру очень разнообразны, они зависят от действия множества приложенных сил. Все движения закономерно объединены в целостные организованные действия, которыми человек управляет при помощи мышц. Учитывая сложность движений человека, в биомеханике исследуют и механическую, и биологическую их стороны, причем обязательно в тесной взаимосвязи.

Поскольку человек выполняет всегда осмысленные действия, его интересует, как можно достичь цели, насколько хорошо и легко это получается в данных условиях. Чтобы результат был лучше и достичь его было легче, человек сознательно учитывает и использует условия, в которых надо действовать. Кроме того, учится более совершенно выполнять движения. Биомеханика человека учитывает эти его способности, чем существенно отличается от биомеханики живот-

ных. Таким образом, биомеханика человека изучает также, какой способ и какие условия выполнения действий лучше и как овладеть ими.

В биомеханике область изучения определяется ее задачами. Общая задача охватывает всю область знания в целом; частные задачи важны при изучении конкретных вопросов движений.

**Общая задача изучения движений состоит в оценке эффективности приложения сил для достижения поставленной цели.**

Всякое изучение движений в конечном счете направлено на то, чтобы помочь лучше выполнять их. Прежде, чем приступить к разработке лучших способов действий, необходимо оценить уже существующие. Отсюда вытекает общая задача биомеханики, сводящаяся к оценке эффективности способов выполнения изучаемого движения. При таком подходе сопоставляют то, что есть в движениях с тем, что требуется.

Биомеханика исследует, каким образом полученная механическая энергия движения и напряжения может приобрести рабочее применение (А.А.Ухтомский). Рабочий эффект измеряется тем, как используется затраченная энергия. Для этого определяют, какие силы совершают полезную работу, каковы они по происхождению, когда и где приложены. То же самое должно быть известно о силах, которые производят вредную работу, снижающую эффективность полезных сил. Такое изучение дает возможность сделать выводы о том, как повысить эффективность действия. Это общая задача. По ходу ее решения возникают многие частные задачи, не только предусматривающие непосредственную оценку эффективности, но и вытекающие из общей задачи и ей подчиненные.

**Частные задачи биомеханики** состоят в изучении и объяснении: а) самих движений человека в той или иной области его двигательной деятельности; б) движений физических объектов, перемещаемых человеком, в) результатов решения двигательной задачи; г) условий, в которых они осуществляются; д) развития движений человека (с учетом названных сторон) в результате обучения и тренировки.

1. На основе кинематики описывают движения (пространственную форму и характер движений), изучая динамику движений, влияние сил на их изменение, дают объяснение, находят причины особенностей движения.

2. Таким же образом описывают и объясняют движения снарядов, зависящие от движений человека.

3. Необходимо сопоставлять разные варианты исполнения, сложившиеся в практике, разную степень совершенства, зависящую от квалификации исполнения и др.

4. Движения часто исполняются в переменных условиях, характер изменения последних также влияет на движения. Учитывая условия внешние (все факторы внешнего окружения) и внутренние (уровень подготовленности, возрастные особенности и др.), с одной стороны выявляют, какие условия благоприятствуют эффективности, иначе говоря, какие нужно создавать условия. С другой стороны, определяют, как лучше приспособиться к заданным условиям, как их использовать.

5. На основе описания и объяснения движений необходимо указать путь их совершенствования: не только изучать действительность, но и преобразовывать ее.

**Содержание науки** составляет совокупность накопленных знаний, складывающихся в определенную систему – **теорию науки**, а также пути получения этих знаний – **метод науки**. И теория и метод выражаются в понятиях и законах науки, характерных для нее, раскрывающих ее содержание.

**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.**

Теория биомеханики в настоящее время охватывает три большие проблемы.

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

Для решения общей задачи биомеханики необходимо изучение специфических особенностей самих процессов

достижения живого организма и условий, обеспечивающих эффективность приложения сил. Для движений животных характерно сочетание множества движений в суставах в единое целое – систему движений. С этим связано возникновение в теории биомеханики *проблемы изучения эффективности двигательных действий, как систем движений, их особенностей и развития.*

Чрезвычайно важно изучение изменения движений в процессе овладения двигательными действиями как системами движений (двигательными актами, приемами выполнения действий). С этим связана *проблема изучения закономерностей формирования и совершенствования движений.*

**Метод биомеханики – системный анализ и синтез движений на основе количественных характеристик, в частности кибернетическое моделирование движений.**

Биомеханика, как наука экспериментальная, эмпирическая, опирается на опытное изучение движений. При помощи приборов регистрируются количественные характеристики, например траектории скорости, ускорения и др., позволяющие различать движения, сравнивать их между собой. Рассматривая характеристики, мысленно расчленяют систему движений на составные части – устанавливают ее состав. В этом проявляется системный анализ.

Система движений как целое – не просто сумма ее составляющих частей. Части системы объединены многочисленными взаимосвязями, придающими ей новые, не содержащиеся в ее частях качества (системные свойства). Необходимо мысленно представлять это объединение, устанавливать способ взаимосвязи частей в системе – ее структуру. В этом проявляется системный синтез.

Системный анализ и системный синтез неразрывно связаны друг с другом, они взаимно дополняются в системно-структурном исследовании.

При изучении движений в процессе развития системного анализа и синтеза в последние годы все шире применяется метод кибернетического моделирования – построение управляемых моделей (электронных, математических, физических и др.) движений и моделей тела человека.

## **2. Развитие биомеханики как науки**

К предпосылкам возникновения биомеханики как самостоятельной науки относится накопление знаний в области

физических и биологических наук, а также развитие техники, что позволяет разрабатывать различные методики изучения движений и по-новому понимать их построение.

В Древней Греции во времена Аристотеля (384–322 г. до н.э.) физикой называли вообще все первоначальные знания о природе. Аристотель первый ввел термин “механика”, описал рычаг и другие простейшие машины, пытался путем рассуждений найти причины движений. Некоторые его представления (например, о зависимости скорости падения в пустоте только от веса тел, о необходимости постоянной силы для поддержания постоянной скорости), не подтвержденные опытом, были впоследствии опровергнуты. Намного долговечнее оказались работы Архимеда (287–212 г. до н.э.), который заложил основы статики и гидродинамики как точных наук. Они сохранили свое значение до нашего времени.

Развитию механики после долгого застоя наук в средние века способствовали исследования Леонардо да Винчи (1452–1519 г.) по теории механизмов, трению и другим вопросам. Примечательно, что этот великий художник, математик, механик и инженер впервые высказал важнейшую для будущей биомеханики мысль: “Наука механика потому столь благородна и полезна более всех прочих наук, что, как оказывается, все живые тела, имеющие способность к движению, действуют по ее законам”.

Общеизвестно, что важнейший раздел механики – динамика – был создан трудами гениальных ученых Галилео Галилея (1564–1642 г.) и Исаака Ньютона (1643–1727 г.). Основные законы классической механики описывают движение материальной точки и абстрактного абсолютно твердого тела.

Из классической механики выделились и развиваются как самостоятельные науки гидро- и аэромеханика, изучающие механику деформируемого тела. Для решения задач биомеханики, связанных с деформациями, большой интерес представляют сопротивление материалов и, особенно, реология (теория упругости, пластичности и ползучести).

Из кинематики, сложившейся как отдельный раздел механики лишь в начале XIX в., выделилась также важная для биомеханики область науки – теория механизмов и машин.

Познания людей о строении тела начали накапливаться с древнейших времен. К концу XVIII в. анатомия уже была сложившейся областью научного знания. От нее стали отделяться другие отрасли биологических наук, в частности фи-

зиология. Началом создания физиологии по праву считают работы в области кровообращения Вильяма Гарвея (1578–1657 г.), формирование понятия о рефлексе Рене Декарта (1596–1650 г.) и исследования Джовани Борелли (1608–1679 г.) по механике движений живых организмов. Исследования Д.Борелли положили начало развитию биомеханики как отрасли науки.

При изучении строения и формы тела, а также их развития, естественно, возникали вопросы об отправлениях, функции органов и тканей. По мере углубления анатомических знаний все более развивался функциональный подход к изучению морфологии человека. Он проявился особенно отчетливо в разработке функциональной анатомии органов движения, оказавшей большое влияние на становление биомеханики.

Расцвет физиологии и медицины в XIX в. был тесно связан с развитием идеи невризмизма – направления научной мысли, признающего ведущую роль нервной системы в управлении жизнедеятельностью высших организмов. Принцип невризмизма был одним из главных, когда закладывались основы теории биомеханики.

Начало развитию биомеханики физических упражнений положил П.Ф.Лесгафт, разрабатывавший курс теории телесных движений. Он начал читать его в 1877 г. на курсах по физическому воспитанию. Этот курс продолжали читать и совершенствовать его ученики. В институте физического образования им. П.Ф. Лесгафта, созданном после Октябрьской революции, этот курс входил в предмет “Физическое образование”, а в 1927 г. был выделен в самостоятельный – под названием “Теория движений”, в 1931 г. переименован в курс “Биомеханика физических упражнений”.

С 30-х г. в институтах физической культуры в Москве (Н.А.Вернштейн), Ленинграде (Е.А.Котикова, Ё.Г.Котельникова), Тбилиси (Л.В.Чхаидзе), Харькове (Д.Д.Донской) и др. развернулась научная и учебная работа по биомеханике спорта.

С 1958 г. биомеханика включена в учебный план всех институтов физической культуры, после чего начали создаваться кафедры биомеханики. На кафедрах спортивных дисциплин институтов физической культуры широко ведутся биомеханические исследования спортивной техники. Биомеханические методы успешно применяются научными работниками, тренерами для исследования качества техники и контроля над ее совершенствованием.

В ряде зарубежных стран преподавание этой учебной дисциплины для специалистов физического воспитания ведется

под названием "Кинезиология", "Анализ движений" и др. В составе научного комитета по физическому воспитанию и спорту при ЮНЕСКО создана рабочая группа по биомеханике. Проводятся международные совещания и симпозиумы по биомеханике.

Биомеханика физических упражнений способствует теоретическому обоснованию ряда вопросов физического воспитания. Биомеханика спорта составляет одну из основ теории спортивной техники. Она помогает обоснованию наиболее рациональной техники, путей овладения ею и технического совершенствования спортсменов.

С применением каждой новой методики, с накоплением фактических данных, с развитием смежных областей знания (механики, анатомии, физиологии, кибернетики) менялись критерии оценки получаемых результатов, появлялись умозаключения, выводы, постепенно складывающиеся в новое понимание явлений и процессов. Теория биомеханики как обобщение экспериментальных данных в свете определенных идей развивалась по нескольким направлениям.

**Механическое направление.** Механический подход к изучению движений человека позволяет определить количественную меру двигательных процессов, объяснить физическую сущность механических явлений, раскрывает огромную сложность строения тела человека и его движений с точки зрения физики.

Хронологически первым было механическое направление в развитии биомеханики. Первую книгу по биомеханике "О движениях животных" (1679 г.) написал ученик Галилея, итальянский врач и математик Джовани Борелли. Исследование действия и противодействия, определение центра тяжести тела человека, классификация локомоторных движений по источнику сил проводились с позиций механики. Физиологи братья Вебер (1836 г.) изучали ходьбу человека тоже с позиций механики, сравнивая движения шагания с качаниями маятников (их гипотезы в последующем во многом не подтвердились).

Изучению механических характеристик движений были посвящены исследования В.Брауне, О.Фишера, Г.Хохмута, А.Новака и др.

Применение законов механики в биомеханике совершенно необходимо, но оно недостаточно. Как биомеханическая система тело человека существенно отличается от абсолютно твердого тела или материальной точки, которые рассматри-

ваются в классической механике. Внутренние силы, которые при решении задач в механике твердого тела стараются исключить, имеют определяющее значение для движений человека. Безразличие к источнику силы в механике сменяется крайним интересом к этому вопросу в биомеханике.

Наряду с механическими причинами особой сложности движений животных существуют немеханические причины, которые играют еще большую роль. Именно эти причины представители данного направления обычно не рассматривают. Чисто механический подход создает почву для неоправданных упрощений, что часто приводит к неправильным выводам. Кроме того, появляется опасность недооценки качественной специфики физики живого. Возникают механистические тенденции объяснения качественно более высоких явлений простейшими механическими факторами.

**Функционально-анатомическое направление.** Функционально-анатомический подход характеризуется преимущественно описательным анализом движений в суставах, определением участия мышц при сохранении положений тела и в его движениях.

Изучая форму и строение органов опоры, а также движения человека в тесной связи с их функцией, анатомы исследовали преимущественно двигательный аппарат. Аналитическое изучение тела человека преобладало в работах О.Фишера, Р.Фикка, Г.Брауса, С.Моллье и других зарубежных анатомов.

Вместе с тем расширялось изучение функций двигательного аппарата как целого. Один из основателей функциональной анатомии П.Ф.Лесгафт рассматривал все системы и органы прежде всего во взаимодействии, как части единого целостного живого организма. Высоко оценивая возможности формообразующего влияния функций, П.Ф.Лесгафт одним из первых начал разрабатывать научные основы физического образования детей и молодежи. Функционально-анатомическое направление развивалось учениками П.Ф.Лесгафта и продолжателями его учения А.А.Красуской, Е.А.Котиковой, Е.Г.Котельниковой и др. Большой вклад в учение о движениях внес М.Ф.Иваницкий, разрабатывавший раздел курса анатомии – двигательный аппарат как целое (динамическая анатомия). Во многих странах наука о движениях – кинезиология – представляет собою в настоящее время своеобразное сочетание механического и функционально-анатомического направлений.

Для анатомического направления в целом характерен описательный подход – преимущественно качественные характеристики при незначительном применении количественной меры. Однако сейчас широко применяются регистрация электрической активности мышц (электромиография), дающая ценный вклад в определение времени и степени участия мышц в движениях, согласования активности отдельных и групп мышц.

Новое направление в функциональной анатомии – спортивная морфология (А.А.Гладышева) – способствует познанию специфических особенностей опорно-двигательного аппарата человека в связи с занятиями спортом. Конкретизация знаний о морфологических основах биомеханических систем обеспечивает более глубокое и правильное определение физической и технической подготовки в физическом воспитании, в частности в спорте.

**Физиологическое направление.** Физиологическое направление в биомеханике утвердило представление о рефлекторной природе движений, кольцевом характере управления движениями и об обусловленной этим чрезвычайной сложности движений человека.

На развитие биомеханики оказали существенное влияние физиология нервно-мышечного аппарата, учение о высшей нервной деятельности и нейрофизиология. Признание рефлекторной природы двигательных действий и механизмов нервной регуляции при взаимодействии организма и среды в работах И.М.Сеченова, И.П.Павлова, Н.Е.Введенского, А.А.Ухтомского, П.К.Анохина, Н.А.Бернштейна и других ученых составляет физиологическую основу изучения движений человека. Результаты многочисленных, проведенных за последние десятилетия во многих странах мира исследований механизмов центральной нервной системы и нервно-мышечного аппарата позволяют наиболее полно представить высокую сложность управления движениями.

Исследования Н.А.Бернштейна, ставшие уже классическими, дали результаты, которые привели его в свое время к новой системе взглядов на движения и управление ими. Развивая идеи И.М.Сеченова о рефлекторной природе управления движениями путем использования чувствительных сигналов, Н.А.Бернштейн выдвинул положение о кольцевом характере процессов управления. Его гипотеза об уровне построения движений сыграла важную роль в дальнейшей

разработке физиологического направления в биомеханике. Глубокое изучение действительных явлений в самом опорно-двигательном аппарате вызвало особое внимание к управлению движениями. Выявленные особенности управления движениями показали, насколько были неверны прежние упрощенные объяснения механизма движений.

**Системно-структурный подход.** Системно-структурный подход в биомеханике характеризуется изучением состава и структуры систем как в двигательном аппарате, так и в его функциях. Этот подход в известной мере объединяет механическое, функционально-анатомическое и физиологическое направления в развитии теории биомеханики.

По современным представлениям, опорно-двигательный аппарат рассматривается как сложная биомеханическая система; движения человека также изучаются как сложная целостная система.

Понятие о системе, в которой множество элементов (ее состав) закономерно объединено взаимными связями, взаимозависимостью (ее структура), характерно для современного научного представления о мире. Системно-структурный подход требует изучения системы как единого целого, потому что ее свойства не сводятся к свойствам отдельных элементов. Важно изучать не только состав, но и структуру системы, рассматривать во взаимосвязи строение и функцию.

Идеи о системности внес в изучение двигательной деятельности также Н.А.Бернштейн. Кибернетический, по сути дела, подход к движениям был им осуществлен более чем за 10 лет до оформления кибернетики как самостоятельной науки.

Современный системно-структурный подход не только не отрицает значения в биомеханике всех направлений, а как бы объединяет их; при этом каждое направление сохраняет в биомеханике свое значение.

### **Контрольные вопросы**

1. Что изучает биомеханика?
2. Каковы задачи биомеханики?
3. Раскройте понятия "теория" и "метод" биомеханики спорта.
4. Каковы основные направления в развитии биомеханики?
5. Расскажите о создании биомеханики физических упражнений и о современном развитии биомеханики спорта.
6. Каково практическое значение биомеханики спорта?

## Лекция N2. **БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА**

### **1. Биомеханические особенности костной системы**

Двигательная деятельность человека требует согласованной работы организма в целом, но главная роль при этом принадлежит двигательному аппарату. С механической точки зрения двигательный аппарат человека представляет собой механизм, состоящий из сложной системы рычагов, приводимых в действие мышцами. Однако при изучении движений человека и причин, их вызывающих, было бы неправильно ограничиваться только представлениями механики. Для того, чтобы понять устройство двигательного аппарата и принцип его действия, необходимо иметь в виду биологическую природу "механизмов" человеческого тела. Анализ деятельности двигательного аппарата с биологической точки зрения позволяет вскрыть своеобразие устройства и принципа действия "живых механизмов". Таким образом, изучая движения человека, необходимо хорошо знать, как устроен его опорно-двигательный аппарат с точки зрения биомеханики. Это означает, что следует ясно представлять себе принципы строения его пассивной (кости и их соединения) и активной (мышечная система) частей. В отличие от анатомии, которая изучает все детали строения тела, для биомеханики важно выявить именно те особенности строения, от которых зависят свойства органов опоры и движения, а также их участие в выполнении двигательной функции.

В биомеханическом исследовании невозможно учесть строение и функции тела во всех их особенностях. Для изучения движений строят модель тела – биомеханическую систему. Она обладает основными свойствами, существенными для выполнения двигательной функции, и не включает в себя множество частных деталей. Таким образом, **биомеханическая система** – это упрощенная копия, модель тела человека, на которой можно изучать закономерности движений.

Двигательную часть человека составляют костная и мышечная системы.

Основным свойством, которым обладает костная система, является свойство упругости.

**Упругость** – способность противодействовать нагрузкам.

**Нагрузками** называются силы, приложенные к телу и в совокупности вызывающие его деформацию.

Различают нагрузки, вызывающие растяжение, сжатие, изгиб и кручение.

Нагрузки, обуславливающие растяжение, возникают, например, при висах или во время удержания груза в опущенных руках.

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

Нагрузки, вызывающие изгиб, обычно встречаются, когда кости выполняют роль рычагов. В этих случаях приложенные к ним силы мышц и силы сопротивления направлены поперек костей и вызывают изгиб.

Нагрузки, обуславливающие кручение, чаще всего встречаются при вращательных движениях звена вокруг продольной оси.

**Соединение звеньев.** Соединения костных звеньев обуславливают многообразие возможностей движений. От способа соединения и участия мышц в движениях зависит их направление и размах (пространственная форма движений).

**Степени свободы движения.** Суставы, связывая в единое целое части тела, сохраняют возможности для их движений. Если часть тела может двигаться только по одной траектории, причем возможности движений по всем остальным траекториям ограничиваются связями, в механике говорят об одной степени свободы, или о степени подвижности.

Совершенно свободное тело имеет шесть степеней свободы. Оно может вращаться вокруг трех основных взаимно перпендикулярных осей, а также двигаться вдоль каждой из этих осей.

Если закрепить тело в одной точке, то у него остается только три степени свободы: оно может вращаться вокруг этой точки в трех основных направлениях (плоскостях). При закреплении тела еще в одной точке оно как бы насаживается на ось, соединяющую обе данные точки. В этом случае сохраняется лишь одна степень свободы: тело может вращаться лишь вокруг оси, проходящей через обе закрепленные точки.

Если же закрепить тело и в третьей точке, не лежащей на одной прямой с остальными двумя точками, то оно потеряет последнюю степень свободы: будет закреплено неподвижно.

Возможности движений отдельных точек тела при закреплении тела несколько иные. При одной закрепленной точке любая точка этого тела имеет только две степени свободы,

т.е. она может двигаться только в двух направлениях по шаровой поверхности. При двух закрепленных точках тела у любой его точки будет лишь одна степень свободы, т.е. возможна одна траектория движения. Само собой разумеется, что у тела, закрепленного в трех точках, нет ни одной степени свободы. У совершенно свободного тела любая точка имеет всего три степени свободы, т.е. может двигаться в любом из трех направлений трехмерного пространства.

Понятие о степенях свободы поможет разобраться в вопросе о подвижности частей тела. Несколько подвижно соединенных звеньев составляет кинематические пары и цепи.

**Биокинематическая пара** – это подвижное (кинематическое) соединение двух костных звеньев, в котором возможности движений определяются строением соединения и управляющим воздействием мышц.

**Кинематическая цепь** – это последовательное или разветвленное соединение ряда кинематических пар. Кинематическую цепь, в которой конечное звено свободно, называют незамкнутой, а цепь, в которой нет свободного конечного звена, – замкнутой.

В каждом соединении незамкнутой цепи возможны изолированные движения. Они геометрически независимы от движений в других соединениях (если не учитывать взаимодействия мышц). Например, свободные конечности, когда их концевые звенья свободны, представляют незамкнутые цепи. Замкнутыми кинематическими цепями в теле человека являются, например, грудина, ребро, позвоночник, ребро и снова грудина.

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

В замкнутой или замкнувшейся цепи невозможно изолированное движение, т.е. движение в одиночном сочленении. Так, сгибая и выпрямляя ноги в выпаде, можно убедиться в том, что движение в любом суставе непременно вызывает движения и в других.

Таким образом, движения в незамкнутых цепях характеризуются относительной независимостью звеньев. В замкнутых же, а также замкнувшихся цепях движения одних звеньев влияют на движения даже отдаленных звеньев (помогают или мешают).

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

В открытой кинематической цепи подвижность каждого следующего звена равна его собственной подвижности плюс подвижность предыдущих звеньев. Так, если у бедра три степени свободы, а у голени относительно бедра еще две степени, то голень относительно таза имеет пять степеней свободы. Наибольшие возможности движений – у конечных звеньев цепи. Но больше шести степеней свободы конечное звено цепи иметь не может. Если же при суммировании степеней свободы получается, что конечное звено имеет их больше шести, то это только значит, что при фиксировании этого звена промежуточные звенья сохраняют степени свободы на шесть степеней меньше. Так, кисть имеет относительно лопатки семь степеней свободы (плечевой сустав – 3, плюс локтевой – 2, плюс лучезапястный – 2). Если положить кисть на стол, то плечо и предплечье сохраняют  $7-6=1$  степень свободы. Они смогут двигаться лишь по одной траектории, вокруг оси, соединяющей плечевой и лучезапястный суставы.

Кости, соединенные подвижно, образуют основу биокинематических цепей. Приложенные к ним силы (мышечные тяги и др.) действуют на звенья биокинематической цепи, как на рычаги. Это позволяет передавать действие силы по цепям, а также изменять эффект приложения сил. Таким образом, *рычаг как простейший механизм служит для передачи движения и силы на расстояние.*

Различают рычаги первого рода (двуплечий) и второго рода (одноплечий). Первый характеризуется тем, что две группы сил приложены по обе стороны от оси (точки опоры) рычага, а во втором случае – по одну сторону.

Вне зависимости от вида рычага в каждом из них выделяют:

- 1) точку опоры;
- 2) точку приложения сил;
- 3) плечи рычага (расстояние от точки опоры до места приложения сил);
- 4) плечи сил (длина перпендикуляра, опущенного из точки опоры на линию действия силы).

Мерой действия силы на рычаг служит ее момент относительно точки опоры. Поэтому для равновесия либо равномерного вращательного движения звена как рычага необходимо, чтобы противоположно направленные моменты сил относительно оси рычага были равны. Для ускорения (торможения)

звена один момент силы должен быть больше другого. Так, момент движущих сил, преобладая над моментом тормозящих сил, придает звену положительное ускорение (в сторону движения). Если же большим оказывается момент тормозящих сил, то он вызывает торможение звена.

С помощью рычага можно выиграть в силе. Для этого нужно действовать мышечной силой на более длинное плечо. Согласно "золотому правилу механики", выигрывая в силе, одновременно проигрываем в пути и в скорости. Наоборот, если действовать мышечной силой на короткое плечо, то можно выиграть в пути и в скорости за счет проигрыша в силе.

В большинстве случаев мышцы прикрепляются недалеко от сустава и подходят к кости под острым углом. Поэтому плечо силы тяги мышцы, как правило, небольшое. Обычно плечо силы тяги мышц меньше плеча силы сопротивления, и, следовательно, при работе мышцы получается проигрыш в силе и выигрыш в пути и в скорости движения. Для некоторого увеличения плеча силы тяги мышц большое значение имеют костные выступы, бугры, сесамовидные косточки, к которым мышцы прикрепляются или через которые они проходят. Выступы, бугры, сесамовидные косточки увеличивают угол подхода мышцы к кости как к рычагу, тем самым увеличивают плечо силы тяги мышцы и момент вращения мышечной силы. Таким образом, можно выделить две причины проигрыша в силе. *Первая* – прикрепление мышцы вблизи сустава, *вторая* – тяга мышцы вдоль кости под очень острым (или тупым) углом.

Можно указать еще и на третью причину некоторых потерь в силе мышц. При больших нагрузках напрягаются все мышцы, окружающие сустав. Мышцы-антагонисты, создавая моменты сил, которые направлены противоположно, полезной работы не производят, а энергию затрачивают. Но в конечном счете в этом есть определенный смысл: хотя и возникают потери энергии, сустав во время больших нагрузок получает укрепление напряжением мышц, которые его окружают.

В связи с особенностями приложения мышечных тяг к костным рычагам необходимы весьма значительные напряжения мышц для выполнения не только силовых, но и скоростных движений. При этом следует помнить, что входящие в биокинематические цепи звенья тела образуют системы составных рычагов, в которых "золотое правило" механики проявляется намного сложнее, чем в простых одиночных рычагах.

## 2. Биомеханические особенности мышечной системы

Основная функция мышц состоит в преобразовании химической энергии в механическую работу или силу.

Мышца как физическое тело обладает рядом механических свойств (упругость, вязкость, ползучесть, релаксация), а как живой орган также и биологическими свойствами (возбудимость, сократимость), играющими важную роль при выполнении движений.

**Упругость мышц** проявляется в напряжении, когда мышца растягивается под действием нагрузки.

По мере увеличения нагрузки мышца удлиняется и при этом растет ее напряжение. Отсюда следует:

1) нагрузка растягивает мышцу, удлиняя ее, т.е. для растягивания мышцы необходимо приложить силу;

2) по мере удлинения мышцы ее напряжение увеличивается; следовательно, чтобы вызвать напряжение мышцы (без дополнительного возбуждения), необходимо ее растянуть;

3) приложенная нагрузка определяет величину напряжения мышцы, таким образом, чтобы получить большое напряжение, надо приложить большую нагрузку (сопротивление тяге мышцы) – действие равно противодействию;

4) упругость мышцы нелинейна; следовательно, по мере значительного растягивания одинаковые приращения длины мышцы дадут все большие приращения напряжения;

5) при отсутствии нагрузки длина мышцы является наименьшей ("свободная длина" мышцы) – нерастянутая мышца не напряжена;

6) в условиях организма длина мышцы больше "свободной длины" и мышца несколько напряжена, т.е. всегда обладает "тонусом" покоя.

Таковы особенности упругих свойств невозбужденной мышцы.

**Вязкость мышц** проявляется в запаздывании деформации мышцы при изменении нагрузки.

При меньшей вязкости мышцы изменение ее длины отстает от изменения напряжения как при растягивании мышцы, так и при ее сокращении. В этом случае мышца, хотя и не сразу, но все же возвращается к исходному состоянию. При большей вязкости замедление еще больше и мышца дольше не возвращается к прежнему состоянию – обнаруживается остаточная деформация. При этом неизбежна потеря энергии. Считают, что вязкость мышц увеличивается при быст-

рых движениях и при значительном возбуждении, т.е. как раз в условиях соревновательной борьбы спортсмена. Однако разогревание мышц при разминке снижает вязкость, уменьшает торможение при сокращении и растягивании мышц. Следовательно, на соревнованиях и тренировках важно для снижения вязкости сохранять в разогретых мышцах тепло.

**Ползучесть мышц** проявляется в удлинении мышцы со временем, несмотря на то, что напряжение ее не изменяется.

Это свойство характеризует изменчивость соотношения "длина – напряжение" мышцы, не зависящую непосредственно от ее возбуждения, т.е. от управления мышцей как живым органом. Так, например, нагруженная (напряженная) мышца имея соответствующую длину; через некоторое время при тех же нагрузке и напряжении может начать увеличиваться. Остаточная деформация, упомянутая выше, тоже может быть рассмотрена как проявление ползучести.

**Релаксация мышц** проявляется в уменьшении ее напряжения, несмотря на то, что длина ее не изменяется.

Релаксация заключается в том, что растянутая мышца, сохраняя длину, постепенно с течением времени уменьшает свое напряжение, расслабляется. Проявления ползучести и релаксации мышцы рассматриваются вне прямой зависимости от ее возбуждения. Для живого организма такой подход чисто условен. Смысл его заключается в том, что даже с позиций механики не следует понимать связь напряжения и длины мышцы как постоянные соотношения.

Совокупность механических свойств (упруговязких, ползучести и релаксации) во всевозможных сочетаниях в различных условиях, в сущности, и есть то, что называется **эластичностью** мышцы.

Высокоэластичной мышце свойственны значительная растяжимость, большая жесткость при большом растягивании (нелинейная упругость) и малые потери энергии (небольшая вязкость) при деформациях. И хотя механизм, обеспечивающий названные свойства, еще не полностью объяснен, их проявления очень важно учитывать при изучении способов повышения эффективности действия мышц в движениях.

К биологическим свойствам мышц относят их возбудимость и сократимость.

**Возбудимость мышц** – ее свойство переходить в состояние возбуждения, которое проявляется в изменении ее напряжения, упругости, вязкости и др.

**Сократимость мышцы** – ее свойство при возбуждении сокращаться, т. е. при той же нагрузке и напряжении изменять длину, укорачиваться.

При одном и том же напряжении мышцы и одинаковой нагрузке длина мышцы вследствие возбуждения становится меньше – мышца сокращается. Если уменьшить возбуждение или же увеличить нагрузку, мышца растягивается. Следовательно, изменения длины мышцы – ее сокращение и растягивание (удлинение) – определяются степенью ее возбуждения и величиной нагрузки. Все это говорит о том, что проявление активности (режим работы) мышцы определяется изменением ее длины, либо ее напряжения, либо того и другого одновременно.

Различают следующие режимы работы мышцы:

- изотонический (напряжение одинаково – изменяется длина мышцы) ;
- изометрический (длина мышцы постоянна – напряжение меняется) ;
- ауксотонический (и длина и напряжение изменяется) .

В чистом виде в движениях человека изотонический режим работы мышцы не наблюдается, так как всегда имеется сопротивление, изменяющее напряжение. Изометрический режим характерен не для движений, а для статических положений. А в реальных движениях обычно наблюдается ауксотонический режим, когда сокращение и растяжение мышцы сочетаются с увеличением и уменьшением ее напряжения.

**Механическое действие мышц** проявляется как тяга, приложенная к месту их прикрепления. Величина силы тяги мышцы и ее проявление в движениях человека обусловлены рядом причин и зависят от совокупности механических, анатомических и физиологических условий.

Основным механическим условием, определяющим тягу мышцы, служит нагрузка. Без нагрузки для мышцы не может быть ее напряжения, не может быть ее силы тяги. Нагрузка может быть представлена весом отягощения, а также его силой инерции и другими силами.

Из анатомических условий проявления тяги мышцы надо назвать строение мышцы и ее расположение (в данный момент движения). Физиологический поперечник мышцы определяет суммарную тягу всех волокон с учетом их взаимного расположения. От расположения волокон зависит и величина

на их упругой деформации при растягивании всей мышцы, а значит, и величина возникающих упругих сил.

Расположение мышцы относительно оси сустава и звена в данный момент движения влияет, во-первых, на величину плеча силы, а стало быть, и величину момента силы тяги. При острых (менее  $45^\circ$ ) и тупых (более  $135^\circ$ ) углах вращающая тяга меньше укрепляющей. Во-вторых, расположение мышцы влияет на направление тяги мышцы.

*Физиологические условия, определяющие величину тяги мышцы, в основном сводятся к условиям возбуждения мышцы и его изменения, в частности при утомлении.* Как известно, от количества возбужденных мионов в основном зависит сила тяги мышцы. Максимальное возбуждение наибольшего количества мионов обеспечивает наибольшую силу тяги мышцы. В связи с утомлением существенно изменяется работоспособность мышцы. Это следует учитывать при биомеханическом исследовании спортивной техники.

Чтобы определить результат тяги мышцы, недостаточно установить величину и направление этой тяги. При различных условиях закрепления звеньев одна и та же тяга приводит к неодинаковому результату – разным движениям звеньев в суставе. Поэтому следует помнить, что *результат приложения тяги мышцы в кинематической цепи зависит от: а) закрепления звеньев; б) соотношения сил, вызывающих движение, и сил сопротивления, в) начальных условий вращения.* При этом в каждом конкретном случае лишь совокупность всех факторов определяет результат работы мышц в целом.

*Разновидности работы мышц определяются сочетанием изменений их силы тяги и длины.* Общеизвестные виды работы мышц (преодолевающая, уступающая и удерживающая) определяются только направлением изменения длины мышцы: укорочением, удлинением, сохранением длины. Для этих трех видов работы (первые два – динамическая, последний – статическая) существует возможность по меньшей мере трех вариантов изменения силы тяги мышц по сравнению с изометрическим: его нарастание, уменьшение, сохранение без изменений. Хотя работа мышц и проявляется только через их тягу, разновидности работы различны и результаты тяги в зависимости от конкретных условий очень разнообразны. В результате схематически можно выделить девять типичных разновидностей работы мышц (табл. 1).

Таблица 1. **Типичные разновидности работы мышц**

Напряжение мышцы	Длина мышцы		
	уменьшается	постоянная	увеличивается
Увеличивается	1. Движение «до отказа»	4. Усиление фиксации	7. Торможение
Постоянное	2. Изотоническое преодоление	5. Постоянная фиксация	8. Изотоническое
Уменьшается	3. Разгон до максимума скорости	6. Ослабление фиксации	9. Приведение
Виды работы	Преодолевающая работа	Статическая работа	Уступчивая

В приведенной таблице названия разновидностей условные, поскольку в практике не сложилось еще определенной терминологии. Кроме того, не все разновидности одинаково часто встречаются.

При сохранении положения тела чаще встречается постоянная фиксация (разновидность 5). В движениях наиболее обычны разгон (3) и торможение (7). В точных движениях характерно притормаживание (9). Силовая работа выполняется с напряжениями в движениях "до отказа" (1) и усилением фиксации (4). При выполнении одного и того же действия могут иметь место смены (иногда неоднократные) разновидностей работы у одной и той же мышцы.

Мышцы, влияющие на движения биокинематических цепей, как правило, функционируют не изолированно, а группами. Взаимодействие осуществляется между мышцами внутри групп, а также между группами мышц. В результате *рабочие тяги мышц (динамическая работа) обуславливают выполнение движений, а опорные тяги мышц (статическая работа) создают необходимые для этого условия.*

Как известно, через каждый сустав проходит не одна мышца, а несколько. Движение в суставе есть результат группового взаимодействия мышц, проходящих через него. Принято различать два вида взаимодействия мышц – синергизм и антагонизм. Мышцы, которые выполняют общую работу, принимая участие в одном и том же движении, т.е. мышцы, расположенные по одну сторону данной оси сустава, называются синергистами. Мышцы, принимающие участие в различных

движениях, противоположных одно другому, называются антагонистами. Необходимо иметь в виду следующие два обстоятельства: во-первых, какого-либо истинного антагонизма в работе мышц нет, так как не только мышцы содружественного (синергического), но и противоположного (антагонистического) действия работают согласованно, совместно обеспечивая выполнение данного движения. Особенно велика роль возбуждения антагонистов в регулировке движения. Посредством точной дозировки напряжения антагонистов регулируется скорость движения и развиваемая при этом результирующая сила, производится торможение движения перед его окончанием, достигается плавный переход движения из одной фазы в другую. В основе точного регулирования противодействия антагонистических мышц лежит автоматически действующий врожденный рефлекс на растягивание: чем больше размах движения, тем больше растягиваются мышцы-антагонисты, тем сильнее раздражаются их проприорецепторы, тем больше возрастает в них рефлекторное напряжение. Этот спинальный рефлекс тонко регулируется высшими отделами центральной нервной системы и дополняется специальными воздействиями центров на мышцы-антагонисты, в соответствии с характером двигательного задания и условиями его выполнения.

Во-вторых, необходимо помнить, что синергетические и антагонистические отношения между мышцами не являются постоянными. Функциональная анатомия дает многочисленные примеры того, что многие мышцы изменяют свою функцию с изменением исходного положения и при движении по переходящим осям многоосных суставов. Мышцы, являющиеся для данного движения синергистами, для другого движения могут становиться антагонистами. Изменение характера взаимодействия между мышцами является важным фактором использования сустава со многими степенями свободы, как полносвязного механизма, работающего в направлении той или иной, но определенной степени свободы.

Перестройка использования мышц достигается благодаря координирующей работе нервных центров. Распределение усилий в группе мышц данного сустава по ходу движения изменяется. Следует добавить, что практически невозможна совершенно точная дозировка величины тяги каждой мышцы, быстроты нарастания тяги, времени "включения" и "выключения" мышцы. Поэтому всегда в той или иной степени возникают рассогласования тяг мышц, что является одной из

главных внутренних помех в управлении движениями. Научиться преодолевать рассогласования тяг мышц очень не просто. Это одна из главных задач при овладении движениями, путь к наибольшей экономичности и точности движений.

### **Контрольные вопросы**

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

### **Лекция № 3. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА**

#### **1. Биомеханические характеристики как понятие**

Наблюдая движения человека, можно заметить, что многие их особенности все время изменяются. Изменяется положение звеньев тела, скорости движения и многое другое. Особенности (или признаки) движения позволяют разделить сложное движение на составные части, заметить, как они влияют одна на другую, как помогают достичь цели. Для этого и изучают характеристики движений человека.

**Характеристики движений человека** – это те особенности, или признаки, по которым движения различаются между собой.

Различают качественные и количественные характеристики.

**Качественные характеристики** – характеристики, описываемые только словами и не имеющие точной количественной меры (например: напряженно, свободно, плавно, мягко и др.).

**Количественные характеристики** – характеристики, которые измеряют или вычисляют, они имеют количественную меру.

Педагогу при проведении урока нечем и некогда измерять и регистрировать количественные характеристики. Ему приходится пользоваться качественными характеристиками, он проводит качественный биомеханический анализ движений каждого ученика.

Изучая движения с помощью измерительной и записывающей аппаратуры, получают количественные характеристики. Их обрабатывают, проводят вычисления для количественного биомеханического анализа. Конечно, затем должен следовать и качественный анализ, чтобы понять законы движения и использовать их в физическом воспитании. Хорошо владея навыками количественного анализа, в повседневной практической работе можно с успехом пользоваться только качественным анализом.

Вся сложность взаимосвязи характеристик, используемых для изучения движений человека, отражена в схеме.

Из нее видно, что наиболее важными являются те из них, которые характеризуют изменения положения тела и движения. К ним относятся кинематические и динамические характеристики. При этом следует отметить тот факт, что движения человека и предметов, перемещаемых им, можно заметить и измерить, только сравнивая их положения с положением выбранного для сравнения тела (тело отсчета). Поэтому все движения человека в биомеханике рассматриваются как относительные.

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

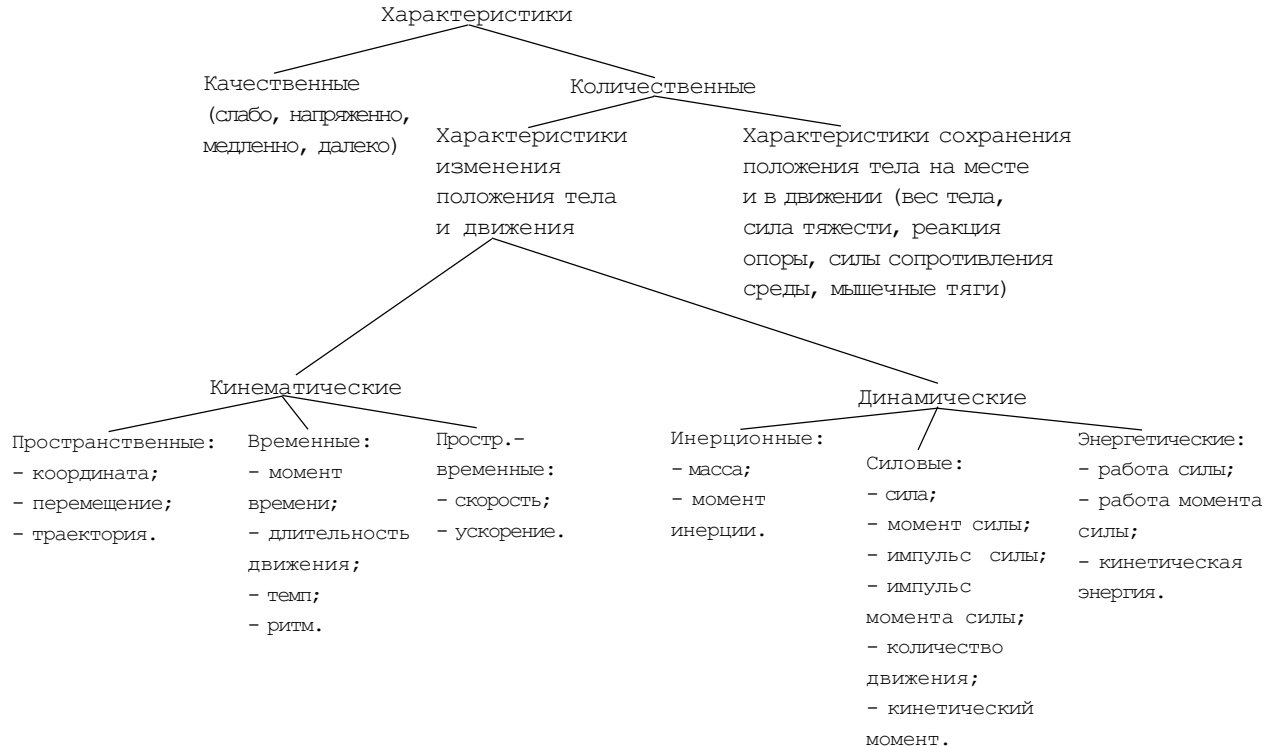
В зависимости от условий задачи, стоящей при изучении двигательного действия, выбирается та или иная система отсчета. Принято выделять:

- инерциальную систему отсчета (Земля, дорожка, лыжня) – движения их в данной системе незаметны при измерениях, т.е. изменениями скорости, ускорениями при решении данной задачи можно пренебречь;

- неинерциальная система отсчета – движущееся тело (скользящая лыжа, раскачивающиеся кольца), движение которого происходит с заметным ускорением, существенно влияющим на отсчет расстояния;

- соматическая система отсчета (тело человека) – движение звеньев рассматривается относительно туловища.

# **Схема биомеханических характеристик, используемых для изучения движений человека**



## 2. Кинематические характеристики

Наблюдая сам факт движений, их внешнюю картину, различают пространственную форму (рисунок, узор) движений и их характер (изменение во времени – быстрее, чаще и т.п.).

*Количественные характеристики, раскрывающие форму и характер движений, называются **кинематическими**.*

Они описывают движения в пространстве и во времени. Соответственно различают характеристики:

- пространственные;
- временные;
- пространственно-временные.

**Пространственные характеристики** позволяют определить, каково исходное и конечное положения при движении (координата), какова между ними разница, насколько они изменились (перемещение) и через какие промежуточные положения выполнялось движение (траектория), т.е. пространственные характеристики в целом определяют пространственную форму движений человека.

**Координата точки** – это пространственная мера местоположения точки относительно системы отсчета.

С точки зрения механики описать движение – это значит определить положение в любой момент времени, определить координаты опознавательных точек тела, по которым изучают ход движения в пространстве.

По координатам определяют, где находится изучаемая точка относительно начала отсчета, измеряя ее линейные координаты. Положение точки на линии определяет одна координата, на плоскости – две, в пространстве – три.

Изучая движение нужно определить: 1) начальное положение, из которого движение начинается; 2) конечное положение, в котором движение заканчивается; 3) ряд мгновенных промежуточных положений, которые принимает тело при выполнении движения.

**Перемещение точки** – это пространственная мера изменения местоположения точки в данной системе отсчета.

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

Перемещение (линейное, в поступательном движении) измеряется разностью координат в моменты начала и окончания движения (см. таблицу 2).

Перемещение тела при вращательном движении измеряется углом поворота – разностью угловых координат в одной и той же системе отсчета расстояний.

**Траектория точки** – это пространственная мера движения (воображаемый след движения точки). Траекторию определяют, устанавливая ее длину, кривизну и ориентацию в пространстве.

Пространственный рисунок движения точки дает ее траектория. Длина траектории показывает, каков путь точки.

Путь точки в прямолинейном движении равен расстоянию от исходного до конечного положения.

При криволинейном движении путь точки равен арифметической сумме модулей ее элементарных перемещений.

Кривизна траектории показывает, какова форма движения в пространстве. Чтобы определить кривизну траектории, измеряют радиус кривизны. Если траектория является дугой окружности, радиус кривизны постоянный. С увеличением кривизны ее радиус уменьшается, и, наоборот, с уменьшением кривизны, радиус увеличивается.

Ориентация траектории в пространстве при одной и той же ее форме может быть разная. Ориентацию определяют для прямолинейной траектории по координатам точек начального и конечного положений; для криволинейной траектории – по координатам этих двух точек и третьей точки, не лежащей с ними на одной прямой линии.

В совокупности ориентация, длина и кривизна траектории позволяют определить направление, размах и форму движения точки, а также начальное положение, конечное и все промежуточные.

**Временные характеристики** раскрывают движения во времени: когда оно началось и закончилось (момент времени), как долго длилось (длительность движения), как часто выполнялось движение (темп), как движения были построены во времени (ритм). Вместе с пространственно-временными характеристиками они определяют характер движений человека.

**Момент времени** – это временная мера положения точки тела и системы, определяемая промежутком времени до него от начала отсчета.

Момент времени определяют не только для начала и окончания движения, но и для других важных мгновенных поло-

жений. В первую очередь это моменты существенного изменения движения: заканчивается одна часть (фаза) движения и начинается следующая (например: отрыв стопы от опоры в беге – это момент окончания фазы отталкивания и начало фазы полета). По моментам времени определяют длительность движения.

**Длительность движения** – это его временная мера, которая измеряется разностью моментов времени окончания и начала движения.

Длительность движения представляет собой количество времени, прошедшее между двумя ограничивающими его моментами времени. Сами моменты (как границы между двумя смежными промежутками времени) длительности не имеют. Ясно, что измеряя длительность, пользуются одной и той же системой отсчета времени. Узнав путь точки и длительность ее движения, можно определить ее скорость. Зная длительность движений, определяют также их темп и ритм.

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

Темп – величина, обратная длительности движений. Чем больше длительность каждого движения, тем меньше темп, и наоборот. В циклических движениях темп может служить показателем совершенства техники.

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

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

**Пространственно-временные характеристики** определяют, как изменяются положения и движения человека во времени.

**Скорость точки** – это пространственно-временная мера движения. Она определяет быстроту изменения положения точки в пространстве с изменением времени.

В поступательном движении скорость измеряется отношением пройденного пути (с учетом его направления) к затраченному времени; во вращательном движении – отношением угла поворота ко времени, за которое произошло вращение.

**Ускорение точки** – это пространственно-временная мера изменения движения, которая характеризует быстроту изменения скорости по величине и направлению.

Ускорение измеряется отношением изменения скорости (угловой скорости) к затраченному на него времени.

Различают ускорения точки: а) положительное, имеющее одинаковое направление со скоростью, – скорость возрастает; б) отрицательное, имеющее направление, противоположное направлению скорости, – скорость убывает; в) нормальная – скорость прежняя, изменяется направление.

### 3. Динамические характеристики

Все движения человека и движимых им тел под действием сил изменяются по величине и направлению скорости. Чтобы раскрыть механизм движений (причины их возникновения и ход их изменения), исследуют динамические характеристики. К ним относятся инерционные характеристики (особенности самих движущихся тел), силовые (особенности взаимодействия тел) и энергетические (состояния и изменения работоспособности, биомеханических систем).

**Инерционные характеристики** раскрывают, каковы особенности тела человека и движимых им тел в их взаимодействиях. От инерционных характеристик зависит сохранение и изменение скорости.

Все физические тела обладают свойством инертности (или инерции), которое проявляется в сохранении движения, а также в особенностях изменения его под действием сил.

Понятие инерции раскрывается в первом законе Ньютона: “Всякое тело сохраняет свое состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения до тех пор, пока внешние приложенные силы не заставят его изменить это состояние”.

Говоря проще: тело сохраняет свою скорость, а также под действием внешних сил изменяет ее.

**Масса** – это мера инертности тела при поступательном движении. Она измеряется отношением величины приложенной силы к вызываемому ею ускорению.

Масса тела характеризует, как именно приложенная сила может изменить движение тела. Одна и та же сила вызовет большее ускорение у тела с меньшей массой, чем у тела с большей массой.

**Момент инерции** – это мера инертности тела при вращательном движении. Момент инерции тела относительно оси равен сумме произведений масс всех его частиц на квадраты их расстояний от данной оси вращения.

Отсюда видно, что момент инерции тела больше, когда его частицы дальше от оси вращения, а значит угловое ускорение тела под действием того же момента силы меньше; если частицы ближе к оси, то угловое ускорение больше, а момент инерции меньше. Значит, если приблизить тело к оси, то легче вызвать угловое ускорение, легче разогнать тело во вращении, легче и остановить его. Этим пользуются при движении вокруг оси.

**Силовые характеристики.** Известно, что движение тела может происходить как под действием приложенной к нему движущей силы, так и без движущей силы (по инерции), когда приложена только тормозящая сила. Движущие силы приложены не всегда; без тормозящих же сил движения не бывает. Изменение движений происходит под действием сил. Сила не причина движения, а причина изменения движения; силовые характеристики раскрывают связь действия силы с изменением движения.

**Сила** – это мера механического воздействия одного тела на другое в данный момент времени. Численно она определяется произведением массы тела и его ускорения, вызванного данной силой.

Чаще всего говорят про силу и результат ее действия, но это применимо только к простейшему поступательному движению тела. В движениях человека как системы тел, где все движения частей тела вращательные, изменение вращательного движения зависит не от силы, а от момента силы.

**Момент силы** – это мера вращающего действия силы на тело. Он определяется произведением силы на ее плечо.

Момент силы обычно считают положительным, когда сила вызывает поворот тела против часовой стрелки, и отрицательным при повороте по часовой стрелке.

Чтобы сила могла проявить свое вращающее действие, она должна иметь плечо. Иначе говоря, она не должна проходить через ось вращения.

Определение силы или момента силы, если известна масса или момент инерции, позволяет узнать только ускорение, т.е. как быстро изменяется скорость. Надо еще узнать, насколько именно изменится скорость. Для этого должно быть известно, как долго была приложена сила. Иначе говоря, следует определить импульс силы (или ее момента).

**Импульс силы** – это мера воздействия силы на тело за данный промежуток времени (в поступательном движении). Он равен произведению силы и продолжительности ее действия.

Любая сила, приложенная даже в малые доли секунды (например: удар по мячу), имеет импульс. Именно импульс силы определяет изменение скорости, силой же обусловлено только ускорение.

Во вращательном движении момент силы, действуя в течение определенного времени, создает импульс момента силы.

**Импульс момента силы** – это мера воздействия момента силы относительно данной оси за данный промежуток времени (во вращательном движении).

Вследствие импульса как силы, так и момента силы возникают изменения движения, зависящие от инерционных свойств тела и проявляющиеся в изменении скорости (количества движения, кинетического момента).

**Количество движения** – это мера поступательного движения тела, характеризующая его способность передаваться другому телу в виде механического движения. Количество движения тела измеряется произведением массы тела на его скорость.

**Кинетический момент (момент количества движения)** – это мера вращательного движения тела, характеризующая его способность передаваться другому телу в виде механического движения. Кинетический момент равен произведению момента инерции относительно оси вращения на угловую скорость тела.

Соответствующее изменение количества движения происходит под действием импульса силы, а под действием импульса момента силы происходит определенное изменение кинетического момента (момента количества движения).

Таким образом, к ранее рассмотренным кинематическим мерам изменения движения (скорости и ускорению) добавляются динамические меры изменения движения (количество движения и кинетический момент). Совместно с мерами действия сил они отражают взаимосвязь сил и движения. Изучение их помогает понять физические основы двигательных действий человека.

**Энергетические характеристики.** При движениях человека силы, приложенные к его телу на некотором пути, совершают работу и изменяют положение и скорость звеньев тела, что изменяет его энергию. Работа характеризует про-

цесс, при котором меняется энергия системы. Энергия же характеризует состояние системы, изменяющейся вследствие работы. Энергетические характеристики показывают, как меняются виды энергии при движениях и протекает сам процесс изменения энергии.

**Работа силы** – это мера действия силы на тело при некотором его перемещении под действием этой силы. Она равна произведению модуля силы и перемещения точки приложения силы.

Если сила направлена в сторону движения (или под острым углом к этому направлению), то она совершает положительную работу, увеличивая энергию движения тела. Когда же сила направлена навстречу движению (или под тупым углом к его направлению), то работа силы отрицательная и энергия движения тела уменьшается.

**Работа момента силы** – это мера воздействия момента силы на тело на данном пути (во вращательном движении). Она равна произведению модуля момента силы и угла поворота.

Понятие работы представляет собой меру внешних воздействий, приложенных к телу на определенном пути, вызывающих изменения механического состояния тела.

**Энергия** – это запас работоспособности системы. Механическая энергия определяется скоростями движений тел в системе и их взаимным расположением; значит, это энергия перемещения и взаимодействия.

**Кинетическая энергия тела** – это энергия его механического движения, определяющая возможность совершить работу. При поступательном движении она измеряется половиной произведения массы тела на квадрат его скорости, при вращательном движении половиной произведения момента инерции на квадрат его угловой скорости.

**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 определяется произведением силы тяжести на разность уровней начального и конечного положения над землей (относительно которого определяется энергия).

Энергия как мера движения материи переходит из одного вида в другой. Так, химическая энергия в мышцах превращается в механическую (внутреннюю потенциальную упругодеформированных мышц). Порожденная последней сила тяги

мышц совершает работу и преобразует потенциальную энергию в кинетическую энергию движущихся звеньев тела и внешних тел. Механическая энергия внешних тел (кинетическая), передаваясь при их действии на тело человека его звеньям, преобразуется в потенциальную энергию растягиваемых мышц-антагонистов и в рассеивающуюся тепловую энергию.

#### 4. Распределение масс частей тела

От распределения масс частей тела зависят многие сопротивления, которые встречают силы, действующие на тело. Эти сопротивления определяются силами тяжести и моментами инерции частей тела.

Наиболее общим показателем распределения масс в теле служит **общий центр тяжести тела (ОЦТ)**. Как известно, *центром тяжести называется точка тела, к которой как бы приложена равнодействующая всех сил тяжести тела*. Во все стороны от этой точки, по любому направлению, моменты сил тяжести взаимно уравниваются. Равнодействующая параллельных сил, действующих на все частицы тела в любом направлении, приложена к ОЦТ; поэтому в этом случае ОЦТ называют еще центром массы, или центром инерции.

Расположение ОЦТ необходимо знать при изучении статике для оценки условий равновесия тела. Путь движения – траектория ОЦТ – во многих случаях дает ценные сведения об особенностях движения тела, так как отражает действие внешних сил на тело. ОЦТ не может перемещаться иначе как под действием внешних сил. Одни внутренние силы никогда не могут изменить положение и путь ОЦТ в пространстве.

Общий центр тяжести тела располагается в зависимости от телосложения человека. У людей с более развитыми ногами ОЦТ относительно ниже, чем у людей с более мощной мускулатурой туловища и рук. У длинноногих людей ОЦТ анатомически расположен ниже, но он дальше от земли, чем у коротконогих.

В симметричных положениях человека, стоящего с опущенными руками, ОЦТ находится на уровне от первого до пятого крестцового позвонка (по Иваницкому), примерно на 4–5 см выше поперечной оси тазобедренных суставов. Переднезадняя плоскость, проходящая через ОЦТ, делит тело почти симметрично. Она несколько смещена вправо от срединной плоскости, так как правая половина тела человека тяже-

лее левой на 400–500 г, в связи с несимметричным расположением внутренних органов и неравномерным развитием двигательного аппарата. У правой правой половина тела развита лучше и имеет большую массу. В переднезаднем направлении ОЦТ располагается между крестцом и лобком в зависимости от положения тела при стоянии.

Само собой разумеется, что с изменением формы тела, вследствие иного расположения его частей, изменяет свое положение и ОЦТ. При перемещении какой-либо части тела и ОЦТ смещается в том же направлении. Если перемещающаяся часть тела имеет большую массу, то и смещение ОЦТ больше.

Массы частей тела определяли путем распила замороженных трупов, а также путем измерения объема частей тела и уравнивания живых людей в различных позах. Средние данные, полученные этими различными методами, оказались близкими друг к другу. Так, если вес тела человека принять за 100%, то вес головы составит 7%; туловища – 43%; бедра – 12%; голени – 5%; стопы – 2%; плеча – 3%; предплечья – 2% и кисти 1%.

Если средние данные более или менее близки, то данные отдельных людей могут значительно отличаться от этих средних в зависимости от телосложения.

Массы отдельных частей тела не остаются постоянными. В связи с тренировкой здесь могут происходить немалые изменения. У спортсменов меньше отложения жира на туловище и лучше развиты мышцы конечностей. Поэтому у них соотношение масс может быть иное, чем у людей, не занимающихся спортом.

Массы тела могут также изменяться и в течение коротких промежутков времени. Например, прием пищи и воды может увеличить массу туловища; после разминки или соревнований прилив крови в расширенные сосуды мышц может увеличить массу конечностей.

Таким образом, относительные массы частей тела человека в конкретных случаях могут намного отличаться от точно вычисленных средних данных. Поэтому нет необходимости в очень большой точности при расчетах, производимых с практической целью. Вполне достаточно эти величины в процентах округлить, так как индивидуальные отклонения от них могут быть намного больше, чем на сотые и десятые доли процента.

Для положения ОЦТ имеет значение не только масса частей тела, но и ее распределение в каждой части тела. Пока-

зателями этого служат центры тяжести частей тела. Центры тяжести длинных частей тела лежат приблизительно на их продольной оси, ближе к проксимальному сочленению. Так, расстояние от проксимального сочленения до центра тяжести (радиус центра тяжести) составляет для бедра 0,44 его длины, для голени 0,42, для плеча 0,47 и для предплечья 0,42. Такое распределение масс обусловлено большой массой мышц, окружающих проксимальные сочленения, особенно для бедра, голени и предплечья. Предплечья и голени имеют мышцы с отчетливо выраженным брюшком и тонким сухожилием. А на бедре в области тазобедренного сустава есть большие массы коротких мышц – ягодичные, приводящие, запираательные и др. Этими особенностями и определяется неравномерное распределение масс в этих частях тела.

Строго говоря, при изменении напряжения мышц и их кровенаполнения распределение масс в конечностях также несколько изменяется. Но значительно больше оно изменяется у туловища, способного очень сильно изменять свою форму.

Принято считать, что центр тяжести туловища располагается на линии, соединяющей середины поперечных осей, проведенных через центры плечевых и тазобедренных суставов. Эту линию центр тяжести туловища делит на отрезки, относящиеся друг к другу как 4: 5, считая от головного конца. По сути дела, туловище – не отдельное звено, а система звеньев, обладающая большой подвижностью. Кроме того, надо учитывать изменение распределения масс туловища при вдохе, когда внутренние органы брюшной полости оттесняются вниз, а грудная клетка, наполненная воздухом, имеет меньший удельный вес. При некоторых положениях отдельные органы брюшной полости могут смещаться на значительное расстояние (до 20 см) (Джафаров).

Значит, при всех расчетах положения ОЦТ имеются очень большие погрешности, связанные с тем, что подвижно соединенные части тела и части тела, в которых изменяется распределение масс, принимаются за неизменяемые тела. Лишь у головы расположение центра тяжести сзади турецкого седла клиновидной кости довольно постоянно, но и оно может измениться при движениях нижней челюсти.

Расположение ОЦТ обусловлено половыми и возрастными особенностями. У детей, имеющих большую массу туловища и головы, ОЦТ располагается выше, чем у взрослых. У

женщин, в связи с присущей им пропорцией тела, в частности с более массивным тазовым поясом, ОЦТ располагается ниже, чем у мужчин.

Для определения действия сил окружающей среды при изучении движений человека в водной среде, а также в полете в воздухе с большой скоростью необходимо знать расположение **центра объема** (ЦО) и **центра поверхности** (ЦП).

Центр объема тела расположен в точке пересечения плоскостей, делящих тело на две равные по объему половины. С погружением в воду на тело действуют силы давления воды. Точка приложения равнодействующей всех сил давления воды на поверхность тела и называется центром объема тела. ЦО можно рассматривать так же, как ОЦТ объема воды, вытесненной погружением тела человека в воду и имеющей форму погруженных частей тела.

В то же время на тело действуют силы тяжести, равнодействующая которых приложена к ОЦТ. Когда ЦО и ОЦТ расположены на одной вертикали, тогда, в зависимости от соотношения величин сил тяжести и давления воды, тело либо всплывает, либо тонет, либо остается неподвижным в воде. Если ЦО и ОЦТ находятся не на одной вертикали, то еще возникает пара сил, вызывающих вращение тела.

У человека ЦО расположен несколько выше его ОЦТ. Это объясняется тем, что содержащийся в грудной клетке воздух делает верхнюю половину тела более легкой, поэтому ОЦТ смещен несколько в сторону ног. В связи с этим человек при покойном положении на воде во время вдоха начинает поворачиваться, опускаясь ногами вниз. Если руки сместить в сторону головы, то можно совместить ЦО и линию тяжести; тогда тело уравновесится.

По данным Иваницкого, ЦО расположен выше ОЦТ на 2 – 6 см, в зависимости от особенностей телосложения. Естественно, что с изменением позы тела изменяется и расположение ЦО.

Во время движения человека со значительной скоростью через воздушную среду силы сопротивления воздушной среды зависят от площади лобовой поверхности тела. Равнодействующая всех сил сопротивления среды приложена к центру поверхности. Граница поверхности сопротивления определяется по проекции границы тела на плоскость, перпендикулярную направлению движения тела относительно среды.

У тела человека, стоящего в выпрямленном положении, ЦП тела при движении в переднезаднем направлении располагается выше ОЦТ.

В безопорном положении при движении в воздухе, например при прыжках на лыжах с трамплина, изменение позы вызывает изменения и лобовой поверхности тела (вместе с лыжами), а следовательно, и ЦП. Когда ЦП ниже ОЦТ, лыжник вращается головой вперед. Если ЦП оказывается выше ОЦТ, то тело получает вращение головой назад. При расположении ОЦТ и ЦП на одной линии, параллельной направлению полета, вращения не возникает.

### **Контрольные вопросы**

1. Для чего определяются характеристики движений человека?
2. В чем различие кинематических и двигательных характеристик?
3. Зачем нужно выбирать систему отсчета и как ею пользоваться?
4. Дайте определение основных пространственных и временных характеристик движений, скорости и ускорения точек тела и звеньев тела.
5. Что является мерой инертности тела при поступательном и вращательном движении?
6. Что является причиной изменения движения? Какие характеристики относятся к силовым?
7. Раскройте энергетические характеристики.

## **Лекция № 4. ДВИГАТЕЛЬНЫЕ ДЕЙСТВИЯ КАК СИСТЕМЫ ДВИЖЕНИЙ. УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЬНЫМИ ДЕЙСТВИЯМИ КАК СИСТЕМАМИ**

### **1. Состав системы движения**

С позиции системно-структурного подхода и теории структурности биомеханика рассматривает двигательные действия как системы, состоящие из иерархически соподчиненных под-

систем низшего порядка. Система в целом и ее подсистемы имеют свои структуры.

В двигательных действиях как системах выделяют пространственные, временные и динамические образующие элементы, представляющие собой состав системы, ее сопоставляющие части, а также системообразующие связи, которые отражают взаимодействие и субординации (соподчиненность) образующих систему элементов. Систообразующие связи составляют структуру системы (см. схему).

Образующие элементы системы движений в двигательном действии обеспечивают решение определенной двигательной задачи и имеют свои отличительные особенности – характеристики и их меры.

В **системе движений** пространственные, временные и динамические элементы объединяются в подсистемы высшего порядка и системы.

**Пространственные образующие элементы** – это положения тела, позы и суставные движения, которые обеспечивают решение простой двигательной задачи.

**Положения тела определяют** по взаимному расположению линии отсчета, проведенной на теле (линия, соединяющая проекции головок плечевой и тазобедренной костей), и осей системы прямоугольных координат в инерциальной системе отсчета, т.е. по отношению к линии горизонта.

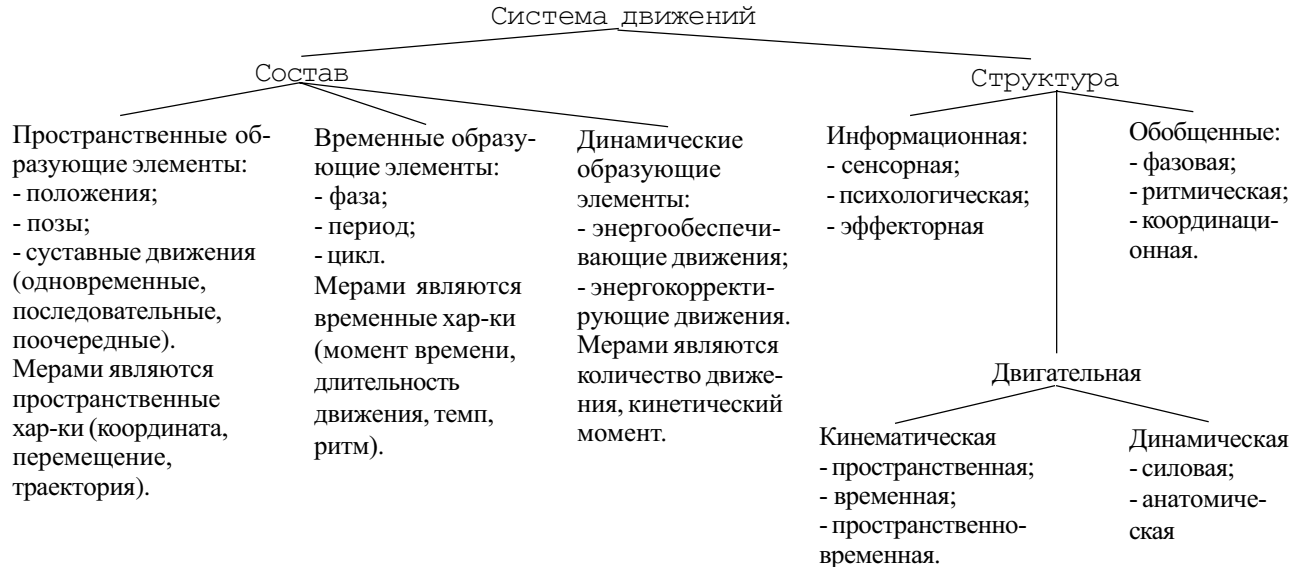
Положения тела разделяют на **вертикальные**: стойки (основная на лопатках, на голове и руках), висы и упоры; **горизонтальные** (лежа на животе, на спине горизонтальные равновесия); **наклонные** (упор лежа сзади, наклонный выпад и др.).

**Позу тела** определяют по взаимному расположению его биозвеньев относительно друг друга в соматической системе отсчета.

Различают позы: прогнувшись; согнувшись; в группировке; широкая стойка ноги врозь; выпад с наклоном; основная стойка руки в стороны, вперед, на пояс и др.

Некоторые физические упражнения выполняются без изменения положения и позы произвольном сохранении неподвижного состояния тела в соматической системе отсчета (стойка в прямолинейном движении при спусках на лыжах, равновесия, положение тела при прыжках с высоты и др.).

## Схема системы движений



При исполнении большинства физических упражнений положение тела и позы непрерывно изменяются. При этом могут изменяться только положения при сохранении заданной позы (прямое тело при махе назад на перекладине, сохранение группировки при исполнении серии акробатических кувырков и др.); изменяется только поза при сохранении положения (приседание и вставание, ходьба, равномерный бег по прямой и др.); изменяются и положения и позы (исполнение длинного кувырка; прыжок в высоту способами перекат, перекидной; подъем разгибом на брусьях; стартовый разгон и др.).

**Суставные движения** – это простые движения двух биозвеньев относительно друг друга в одном суставе, направленные на решение простой двигательной задачи.

Движения в суставах ограничены суставными сумками, связками, сухожилиями, мышцами и происходят по дугам окружностей вокруг суставных осей. Поэтому в каждом суставе количество простых двигательных задач, решаемых суставными движениями, зависит от количества степеней свободы движений. В одноосных суставах (межфаланговые) с одной степенью свободы происходит сгибание и разгибание; в двуосных (лучезапястный, локтевой, голеностопный, коленный) с двумя степенями свободы возможны сгибание и разгибание, отведение и приведение, пронация и супинация; в трехосных суставах (плечевой, тазобедренный) с тремя степенями свободы решаются задачи сгибания и разгибания, отведения и приведения, пронации и супинации или исполнения круговых движений.

Пространственные образующие элементы объединяются в пространственные подсистемы высшего порядка, что положительно сказывается на возможности людей совершать различные движения. Так в двигательной деятельности человека суставные движения объединяются в группы одновременных, ряды последовательных и поочередных движений. Благодаря этому объединению количество степеней свободы биозвеньев тела увеличивается и этим обеспечивается возможность решения любых двигательных задач.

**Одновременные движения** используются в разных суставах в одно и то же время. Например, движение в суставах маховой ноги и рук при отталкивании в прыжках в длину с разбега.

**Последовательные движения** характеризуются тем, что исполнение последующего движения биозвеньев в одних суставах начинается тогда, когда предыдущие движения биозвеньев в других суставах еще не закончены. Например, для со-

здания непрерывной тяги при плавании кролем, гребковые движения руками выполняются последовательно, "наслаиваясь" одно на другое.

**Поочередные движения** происходят в разных суставах, следуют поочередно одно за другим. Например, при исполнении подъема разгибом на брусках, разгибание в тазобедренных суставах из положения упора на руках согнувшись, при тормаживании ног и разгибание рук в плечевых суставах при выходе в упор происходят поочередно.

С возрастанием количества участвующих в двигательной деятельности человека суставных движений, количество степеней свободы подвижных звеньев его тела может увеличиваться до ста и более. Это обуславливает практически неограниченные двигательные возможности человека. Мерами пространственных образующих элементов являются пространственные характеристики (координата, перемещение, траектория).

К **временным образующим элементам** относятся фазы, периоды, циклы.

**Фаза** – это наименьший временной элемент, обеспечивающий решение определенной двигательной задачи.

Например, при отталкивании прыжка в длину с разбега в фазе амортизации решается задача подготовки к отталкиванию за счет изменения направления скорости и наращивание силы упругой деформации растягивающихся мышц. В фазе отталкивания решается задача сообщения предельного ускорения ОЦМ тела ученика в направлении вылета путем преодоления моментов инерции ускоряемых биозвеньев быстрым сокращением ранее растянутых мышц.

В движениях человека фазы объединяются во временные подсистемы движений: периоды и циклы.

**Периоды** – это объединения фаз, имеющих общие особенности. Например, периоды опоры и периоды полета при беге, периоды скольжения и стояния лыжи в попеременных ходах, периоды использования потенциальной и накопления кинетической энергии в движении снизу вверх во время исполнения оборотов на перекладине и др.

**Цикл** – это повторность периодов. Например, повторность периодов одиночной и двойной опоры в ходьбе, опоры и полета в беге и др.

За цикл принимают и одноактные двигательные действия. Например, метание, прыжок, подъем, спад, переворот, оборот и др.

Для оценки временных образующих элементов и подсистем

тем движений в педагогической практике используют меры их измерения: момент времени, длительность движения, темп и ритм.

**Динамические образующие элементы** – это движения в пространстве и времени, которые направлены на решения задач накопления механической энергии ускоряемыми биозвеньями, биокинематическими цепями и всем телом человека и ее передачи от одного биозвена к другому, от одной биокинематической цепи к другой и всему телу, а также связанными с ним внешним телом.

По двигательным задачам динамические образующие элементы разделяют на фазы энергообеспечивающих и энергокорректирующих движений.

**Энергообеспечивающие движения** решают задачу накопления механической энергии биозвеньями, биокинематическими цепями и всем телом человека в биодинамической основе двигательного действия.

**Энергокорректирующие движения** обеспечивают передачу механической энергии одного биозвена, биокинематической цепи или всего тела другому биозвену, другой биокинематической цепи, всему телу или связанному с ним внешнему телу. Энергокорректирующие движения проявляются в биодинамической основе (которую они составляют вместе с энергообеспечивающими движениями), а также обуславливают эффективность завершающих движений двигательного действия (цикла, периода).

Мерами взаимодействия энергообеспечивающих и энергокорректирующих движений будут количество движения (в поступающем движении) и кинетический момент (во вращательном движении).

## 2. Структура системы движения

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

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

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

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

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

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

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

При изучении системы движений выявляют следующие основные виды ее структуры.

**Двигательная структура** – это закономерности взаимосвязи движений в пространстве и времени (кинематическая структура), а также силовых и энергетических взаимодействий (динамическая структура) в системе движений.

В первую очередь поддаются наблюдению форма и характер движений, внешняя их картина. По кинематическим характеристикам (пространственным, временным, пространственно-временным) устанавливают **кинематическую структуру**.

Соответственно различают структуры: *пространственные*, раскрывающие форму движений в пространстве, их связи; *временные*, показывающие, как организована во времени система движений; *пространственно-временные* – главные показатели быстроты изменения положения и движения. Каждая из этих структур имеет свое особое, частное, значение; лишь все вместе во взаимосвязи они образуют общую кине-

матическую структуру, т.е. обуславливают внешнюю картину движений в целом.

При обучении физическим упражнениям в первую очередь стараются установить кинематическую структуру, найти общую организацию движений, т.е. описать их.

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

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

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

Когда рассматривают совместное приложение ряда сил к звеньям тела, оценивают их взаимное влияние, эффект совместного воздействия, то определяют *силовую структуру*. При изучении мышечных сил, их совместного действия, сложных отношений, возникающих внутри групп мышц и между их группами, определяют *анатомическую структуру*. Особое внимание уделяется тому, как посредством мышечных сил согласовать действие остальных сил и использовать их.

Установить динамическую структуру, найти закономерности согласования сил – это значит раскрыть сущность движений под действием сил, т.е. объяснить механизмы движений.

**Информационные структуры** – это закономерности взаимосвязей между элементами информации (сообщениями об условиях и ходе действия и командами), без которых невозможно управление движениями.

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

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

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

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

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

**Обобщенные структуры** – это закономерности взаимосвязей разных сторон действия; обобщенные структуры обусловлены сочетанием разных видов структур (чаще всего ритмических, фазовых и координационных).

*Ритмические структуры* – это закономерности взаимосвязей движений во времени, соотношение длительностей частей движений, всего двигательного акта или действий. От того, как размещены во времени акценты усилий, зависит скорость и длительность последующих движений. Части движений различаются по направлению, скорости, ускорению, усилию. Ритмические же соотношения измеряются только показателями времени. Ритмические структуры служат особо отчетливыми показателями совершенства упражнений.

*Фазовая структура* – это основные закономерности взаимодействия, взаимосвязи фаз, которые определяют целостность системы движений. Зная требования к каждой фазе, устанавливая, как они согласуются между собой, как используются детали движений для общего результата упражнения, можно глубже понять и лучше оценить качество исполнения, лучше определить роль каждой фазы в целом упражнении.

*Координационная структура* – совокупность всех основных внутренних взаимосвязей в системе движений, а также взаимодействий человека с его внешним окружением во время выполнения упражнения. Таким образом, можно сказать, что координационная структура включает в себя все перечис-

ленные виды структуры движений, внутренние взаимосвязи системы, а также всю внешнюю структуру – совокупность взаимодействий спортсмена с внешним окружением.

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

### 3. Человек как самоуправляемая система

Для того, чтобы физические упражнения достигали поставленной цели, их надо выполнять правильно, совершенно. Совершенство выполнения зависит от управления движениями. Физические упражнения в биомеханике изучаются как система движений, управляемая человеком. Для лучшего овладения физическими упражнениями надо знать, как организовано управление системой движений и какие изменения происходят при формировании и совершенствовании системы движений.

**Самоуправляемая система** включает в себя две подсистемы – управляющую и исполнительную, которые соединены каналами прямой и обратной связи между собой и внешним окружением.

Управляющая подсистема (мозг) посылает команды органам движения по каналу прямой связи (двигательные нервы). Органы движения, осуществляя действие, воздействуют на внешнее окружение (тоже прямая связь). От внешнего окружения сигналы о его состоянии и изменениях в нем по каналу обратной связи поступают в организм и доходят до мозга (по чувствительным нервам). Получается замкнутый (кольцевой) контур управления. Следует понимать, что в подсистему управления сигналы обратной связи поступают и через подсистему исполнения, и непосредственно через отдельные органы чувств. Получается ряд замкнутых циклов, который обеспечивает управление по ходу движения.

Когда изучают двигательное действие как управляемую систему движений, устанавливают, каков ее состав и структура. Для этого служат количественные характеристики движений. По характеристикам выявляют отличающиеся друг от друга части (состав системы, т.е. ее подсистемы). По их изменениям определяют, как эти части взаимосвязаны и влияют друг на друга (структура системы). Эти характеристики дают также описание состояния системы в каждый момент.

Конечное состояние системы, заданное заранее, представляет собой *цель управления*, к которой должен привести весь процесс управления. *Достижение цели осуществляется управляющими воздействиями (командами)*. Они переводят систему из одного состояния в другое по определенному способу, иначе говоря, определяют поведение системы.

**Информация в системе движений** — это сообщения о состоянии и изменениях внешнего окружения и организма, а также команды подсистемам исполнения и обеспечения.

Информация — душа управления. Она передается посредством сигналов (к центру — сообщения, от центра — команды).

Передача информации в самоуправляемой системе

Информация поступает на вход системы (прием информации). Вход обладает способностью к восприятию сообщений путем реакции на них. Прием именно нужной инфор-

ции происходит в результате сложных процессов поиска, сбора и отбора сигналов. Важно научиться быстро и точно получать только нужную информацию. Далее следует переработка информации (кодирование, перекодирование), сопровождающаяся сложнейшим синтезом, обобщением потоков сведений, преобразованием их в команды. Движение информации завершается ее передачей на объект управления (его вход) и выдачей на выходе всей системы в форме действия спортсмена, направленного и на внешнее окружение, и на изменение состояния самого спортсмена.

Одновременно информация направляется на хранение в запоминающее устройство ("память системы"). Кратковременная память используется вскоре после поступления, долговременная хранится долго. Без хранения информации невозможно ничему научиться, невозможно совершенствование системы. Извлечение из памяти неизбежно при любом акте управления: оно помогает исходя из накопленного опыта найти лучшее решение задачи.

*Предварительная информация* отражает состояние системы и ее окружения до рассматриваемого действия, обеспечивает подготовку к нему.

*Текущая информация* способствует целенаправленному управлению в течение действия. Таким образом, в самоуправляемой системе осуществляется передача информации двумя путями: а) непосредственный путь – прием, переработка, выдача; б) с задержкой – с хранением информации в памяти и последующим ее извлечением. Участие памяти является одной из основ совершенствования упражнения.

Управление как способ достижения цели возможно лишь тогда, когда эта цель имеется. В двигательных действиях целью управления служит двигательная задача.

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

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

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

Всегда в ее формировании так или иначе участвует информация: а) о внешнем окружении, в котором надо выполнять задачу; б) о состоянии готовности спортсмена; в) о прошлом опыте (информация, извлеченная из памяти). Будущее формируется на основе настоящего и прошлого.

Если задача отвечает на вопрос: "Чего следует достичь?", – то нужно еще получить ответ на вопрос: "Как этого достичь?". На этот вопрос ответ дает *программа управления*.

**Программа управления** – это выработанные состав и последовательность движений, целесообразных в конкретных условиях при решении поставленной двигательной задачи.

В процессе физического воспитания развиваются двигательные качества, формируются двигательные навыки, создаются возможности решения двигательных задач. С точки зрения управления движениями занятия физическими упражнениями обеспечивают накопление множества программ, накопление двигательных возможностей.

Формирование программ управления – очень многосторонний процесс, в связи с тем, что и само управление имеет много сторон. Так, необходимы *программы подготовки* – предварительных изменений состояния системы перед действием и в ходе самого действия, перед каждой его фазой; *программы выбора* – определения варианта, наиболее соответствующего изменяющимся условиям; *программы слежения* – сопоставления фактического выполнения и оптимальной программы в данных условиях; *программы цели* – программы мобилизации возможностей перестройки движений при помехах для сохранения оптимального варианта действий; *программы усиления* – аварийные программы достижения цели даже не лучшим вариантом, использование резервов в тяжелой ситуации и др. Каждая из названных программ также требует многих более детализированных "подпрограмм", ведь управление движениями человека относится к сложнейшим процессам в мире.

Контроль над выполнением программы осуществляется при помощи сигналов обратной связи, обеспечивающих слежение, сличение, поправки, перестройки и др. процессы.

В этом контроле при выполнении физических упражнений крайне важное место занимает самоконтроль на основе отчетливых двигательных представлений.

Итак, управление движениями осуществляется благодаря передаче и переработке информации – устанавливается двигательная задача, выбираются необходимые, выработанные заранее программы, а также создаются новые, передаются команды мышцам, ведется постоянный контроль над ходом действия, что и обеспечивает выполнение необходимого двигательного действия.

#### **4. Управление движениями в переменных условиях и формирование структур системы движений**

Физические упражнения обычно выполняются в переменных условиях. Условия внешнего окружения бывают довольно постоянными (например, в гимнастике, легкой атлетике) или очень изменчивыми (например, в спортивных играх). Однако, если внешнее окружение даже мало изменяется, существуют две группы внутренних факторов, создающих переменные условия выполнения движений: неизбежные рассогласования напряжений нескольких сот мышц и многочисленные, не предусмотренные заранее, пассивные механические силы (инерционные и реактивные) внутри биомеханической системы. Таким образом, внутренние и внешние механические условия переменны. Поэтому переменны и потоки информации, что и обуславливает приспособление движений к условиям действия. Управление движениями в таких условиях чрезвычайно сложно и вместе с тем очень совершенно.

Все воздействия на движения можно разделить на управляющие и сбивающие.

**Управляющие воздействия** – это напряжения мышц, посредством которых вызывают и изменяют соответствующие движения. Эти воздействия ведут к поставленной цели, обеспечивают выполнение двигательной задачи. Команды, посылаемые мышцам, благодаря обратной связи учитывают также и другие внутренние и внешние силы, приложенные к телу. В том случае, если другие (не мышечные) силы способствуют достижению цели, используются в управлении, их тоже следует считать управляющими воздействиями.

**Сбивающие воздействия** всегда возникают при движениях. Их принято называть помехами. Они препятствуют дос-

тижению цели, могут нарушать правильность движений. Часть помех неустранима – это те силы, которые неизбежны в движениях в виде внешних сопротивлений (трение, сопротивление водной среды и т. п.). С этими помехами ведется борьба посредством приспособления к ним управляющих воздействий заранее и устранения возникающих отклонений от программы управления.

Даже при самом совершенном повторении упражнения под влиянием помех возникают отклонения. Это могут быть отклонения в разных характеристиках, у разных звеньев тела, в разные фазы движений. Всегда наблюдается изменчивость движений в виде неповторимости характеристик, их разброса. Изменчивость можно рассматривать как *приспособительную, случайную и коррекционную*.

*Приспособительная изменчивость* характеризуется предварительными изменениями системы движений, которые соответствуют переменным условиям. В этом случае управляющие воздействия заранее приспособляются к предстоящим условиям действия, т.е. происходит подготовка к встрече с помехами, и отклонения не наступают. Здесь важно успеть подготовиться и точно дозировать необходимое изменение. Однако само приспособление представляет уже какое-то изменение выполняемой программы. Это хотя и частичное, но все-таки тоже отклонение, и оно должно быть возмещено.

*Случайная изменчивость* вызвана возмущениями, не предвиденными полностью, т.е. возникает тогда, когда приспособительная изменчивость недостаточна, не обеспечивает нейтрализации помех в переменных условиях. Отклонения, мешающие достижению цели, существенные. Это недостатки и ошибки в выполнении упражнений. Большое количество отклонений можно считать несущественными, поскольку они не нарушают в целом правильности движений, не снижают эффективности упражнений, безразличны для результата.

*Коррекционная изменчивость* характеризуется изменениями для исправления возникающих отклонений. Это те изменения в управлении движениями, которые приостанавливают начавшееся случайное существенное отклонение и далее направлены на восстановление правильного выполнения программы. В основе коррекции лежит сличение заданной программы с текущим выполнением движений, выявление отклонений и их устранение. Для этого необходима программа, продиктованная двигательной задачей, и информация по каналам обратной связи об обстановке и ходе движений.

Именно приспособительная (предупреждающая отклонения) и коррекционная (исправляющая отклонения) изменчивость делают успешной борьбу с помехами, предупреждают и устраняют случайные существенные отклонения.

Овладение физическим упражнением с точки зрения биомеханики представляет собой формирование новой системы движений. При этом происходит первоначальное построение системы движений (овладение упражнением) и дальнейшая ее перестройка (совершенствование выполнения упражнения).

**При обучении новым упражнениям** используются соответствующие, ранее сформированные подсистемы движений; затормаживаются наличные подсистемы, непригодные для решения данной задачи; формируются новые подсистемы, необходимые для решения новой двигательной задачи и на этой основе происходит формирование структур вновь создаваемой системы движений.

Двигательная деятельность человека отличается чрезвычайной способностью к функциональной перестройке и накоплению форм поведения. С возрастным развитием организма и накоплением двигательного опыта создаются все большие возможности для использования ранее освоенных движений.

При овладении физическими упражнениями всегда в большей или меньшей степени используются ранее созданные подсистемы движений. Нередко они несколько приспособляются к требованиям новых упражнений.

Поскольку возникает новая двигательная задача, для ее решения необходима выработка новых подсистем движений и вместе с тем подавление тех подсистем, которые не могут быть использованы, но могут помешать решению новой задачи.

Приспособление старых подсистем и объединение их с новыми, да еще при торможении непригодных, является сложным длительным процессом установления новых взаимодействий – формирования новой структуры целостной системы движений.

Структуры подсистем объединяются, соединяются, согласовываются. Трудностей при этом возникает немало, хотя бы из-за различий характера подсистем, их временных характеристик (в частности, ритмов), степени их совместимости, устойчивости к помехам, осознаваемости и др.

Процесс построения системы движений при первоначальном овладении физическим упражнением опирается на постановку ряда задач. Прежде всего необходимо ознакомление с новым упражнением (рассказ, показ), создание модели упражне-

ния, установление требований к его выполнению. Ознакомление включает в себя теоретическое понимание внешней картины (описание) и механизма (объяснение) движений; создание зрительного образа при наблюдении за показом; получение двигательных ощущений при первых попытках выполнения упражнения в целом или подводящих к нему упражнений. В результате ознакомления создается двигательное представление. Это происходит не сразу, а нередко после многократного повторения с уточнением на последующих ступенях обучения. В основе ознакомления лежат методы рассказа, показа и пробы.

Следующая группа задач – освоение разучиваемого упражнения, продолжающееся до тех пор, пока ученик не сможет в основном правильно и уверенно выполнить упражнение.

Построение системы возможно *аналитическим* путем: с помощью подводящих упражнений формируются элементы будущей системы, а потом из них складывается целое упражнение. Для ряда упражнений более пригоден *синтетический* путь: сначала в общем виде создается целое, а потом происходит совершенствование его деталей. Оба пути тесно связаны, применяются в зависимости от особенностей разучиваемого упражнения, могут чередоваться по ходу обучения.

Решение третьей группы задач, связанных с применением упражнения для получения требуемого результата, должно обеспечить повышение эффективности упражнения (более высокий результат) и надежности его выполнения (при заданном результате).

Все три группы задач ставятся не только при формировании системы движений. Они необходимы и при дальнейшем совершенствовании техники спортивных упражнений. Группы задач – это не последовательные этапы обучения, однократно сменяющие друг друга. Наоборот, эти задачи ставятся снова и снова, многократно, и каждый следующий раз на более высоком уровне требований.

Совершенствование техники начинается после завершения (в основном) формирования системы движений при начальном обучении и продолжается в течение всего времени, пока еще спортсмен тренируется. В основе совершенствования техники физического упражнения лежит перестройка системы движений. Взаимодействия между ее элементами приобретают все более упорядоченный характер; отклонения в исполнении движений, связанные с невысоким совершенством, недостаточной точностью движений, уменьшаются; приспособительные изменения,

наоборот, расширяют границы допустимых отклонений, приспосабливаются к все большему кругу переменных условий; увеличивается помехоустойчивость и надежность исполнения; исчезают случайные существенные отклонения.

При обучении и совершенствовании устраняются ошибки и недостатки. *Ошибки* – это отклонения от выполнения требований, предъявляемых к движениям, от механизма движений. Эти отклонения выходят за допустимые пределы и нарушают правильность движений; основные ошибки – это нарушения основных требований, невыполнение того, что обязательно для заданного упражнения. Частные ошибки не затрагивают основного механизма движений, но нарушают отдельные частные требования, что в конечном счете снижает качество и результат выполнения. От ошибок принято отличать *недостатки*: с качественной стороны все выполняется правильно, однако количественно не вполне соответствует требованиям. Для устранения ошибки следует разрушить неправильные движения и их структуру. Для устранения недостатка не надо разрушать созданное, а следует только определенным образом изменить количественную меру, сохраняя сложившийся механизм.

Таким образом, перестройка систем движений обусловлена всеми видами двигательной деятельности, в особенности целенаправленным физическим воспитанием, а также возрастным физическим развитием; с изменениями в двигательном и управляющем аппаратах перестраиваются и системы движений.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое система движений, ее состав и структура?
2. Как выделяют элементы движений в пространстве и во времени; как они объединены в подсистемы и целостную систему?
3. Каковы отличия видов структуры (кинематическая, динамическая) ?
4. Что такое информационная структура двигательного действия?
5. Какова схема управления в двигательном действии человека?
6. Что такое прямая и обратная связи?
7. Что такое информация и каково ее значение в программировании движений?

8. Каково содержание двигательной задачи, программы и действия; как они формируются?

9. Каковы основные особенности управления движениями в переменных условиях?

10. Как изменяется система движений при становлении и совершенствовании спортивной техники?

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Донской Д.Д. Биомеханика с основами спортивной техники. – М.: Физкультура и спорт, 1971. – 288 с.

2. Донской Д.Д. Биомеханика: Учебное пособие. – М.: Просвещение, 1975. – 239 с.

3. Донской Д.Д. Движения спортсмена: Очерки по биомеханике спорта. – М.: Физкультура и спорт, 1965. – С. 3-90.

4. Донской Д.Д. Законы движений в спорте: Очерки по структурности движений. – М.: Физкультура и спорт, 1968. – 176 с.

5. Донской Д.Д., Зациорский В.М. Биомеханика: Учебник для институтов физической культуры. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – 264 с.

6. Жуков Е.К., Котельникова Е.Г., Семенов Д.А. Биомеханика физических упражнений: Учебное пособие. – М.: Физкультура и спорт, 1963. – С. 3-114.

7. Задания и методические указания для самостоятельной работы студентов по курсу "Биомеханика" / Сост. А.И.Навойчик. – Гродно: ГрГУ, 1992. – С. 3-8.

8. Зациорский В.М., Арутин А.С., Селуянов В.Н. Биомеханика двигательного аппарата человека. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 143 с.

9. Коренберг В.Б. Основы качественного биомеханического анализа. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – 208 с.

10. Назаров В.Т. Движения спортсмена. – Мн.: Полымя, 1984. – С.3-47.

11. Чхаидзе Л.В. Об управлении движениями человека. – М.: Физкультура и спорт, 1970. – С. 28-103.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Лекция № 1. ВВЕДЕНИЕ В БИОМЕХАНИКУ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ .....	4
1. Предмет, задачи, содержание биомеханики .....	4
2. Развитие биомеханики как науки .....	10
Лекция N2. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА .....	17
1. Биомеханические особенности костной системы ...	17
2. Биомеханические особенности мышечной системы .	22
Лекция № 3. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ       ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА.....	28
1. Биомеханические характеристики как понятие ...	28
2. Кинематические характеристики .....	31
3. Динамические характеристики .....	34
4. Распределение масс частей тела .....	38
Лекция № 4. ДВИГАТЕЛЬНЫЕ ДЕЙСТВИЯ КАК СИСТЕМЫ ДВИЖЕНИЙ. УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЬНЫМИ ДЕЙСТВИЯМИ КАК СИСТЕМАМИ .....	42
1. Состав системы движения .....	42
2. Структура системы движения .....	47
3. Человек как самоуправляемая система .....	51
4. Управление движениями в переменных условиях и формирование структур системы движений .....	55
Рекомендуемая литература .....	60

Учебное издание

**Навойчик** Андрей Иосифович

**ОБЩАЯ      БИОМЕХАНИКА**

Тексты лекций по курсу  
"Биомеханика физических упражнений"  
для студентов специальности П 02.02.00 –  
Физическая культура и спорт

Редактор Е.А. Смирнова  
Компьютерная верстка: И.П. Зимницкая

Сдано в набор 25.07.2000. Подписано в печать 14.11.2000.  
Формат 60х84/16. Бумага офсетная №1.  
Печать офсетная. Гарнитура Школьная.  
Усл. печ. л. 3,71. Уч.-изд. л. 3,36.  
Тираж 140 экз. Заказ

Налоговая льгота – Общегосударственный классификатор  
Республики Беларусь ОКРБ 007-98, ч. 1, 22.11.20.600.

Гродненский государственный университет  
имени Янки Купалы.  
ЛВ №96 от 02.12.97 г.  
Ул. Ожешко, 22, 230023, г. Гродно.

---

Отпечатано на технике издательского отдела  
Гродненского государственного университета  
имени Янки Купалы.  
ЛП №111 от 29.12.97 г.  
Ул. Ожешко, 22, 230023, г. Гродно.