**1. Предмет 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. Закономерности механического движения изучаются механикой. Предметом механики как науки является изучение изменений пространственного расположения тел и тех причин, или сил, которые вызывают эти изменения. 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. Объект познания биомеханики – двигательные действия человека как системы взаимно связанных активных движений и положений его тела. Область изучения биомеханики – механические и биологические причины возникновения движений, особенности их выполнения в различных условиях. Общая задача изучения движений состоит в оценке эффективности приложения сил для достижения поставленной цели.

**2. Задачи биомеханики спорта**

Общая задача изучения движений человека в биомеханике спорта – оценка эффективности приложения сил для более совершенного достижения поставленной цели.

Изучение движений в биомеханике спорта в конечном счете направлено на то, чтобы найти совершенные способы двигательных действий и научить лучше их исполнять. Поэтому оно имеет ярко выраженную педагогическую направленность.

Частные задачи биомеханики спорта состоят в изучении следующих основных вопросов:

а) строение, свойства и двигательные функции тела спортсмена;

б) рациональная спортивная техника и

в) техническое совершенствование спортсмена.

Поскольку особенности движений зависят от объекта движений – тела человека, в биомеханике спорта изучают (с точки зрения биомеханики) строение опорно-двигательного аппарата, его механические свойства и функции (включая показатели двигательных качеств) с учетом возрастных и половых особенностей, влияния уровня тренированности и т.п. Короче говоря, первая группа задач – изучение самих спортсменов, их особенностей и возможностей.

Чтобы эффективно выступать на соревнованиях, спортсмен должен владеть наиболее рациональной для него техникой. От того, из каких движений и как построены двигательные действия, зависит их совершенство. Поэтому в биомеханике спорта детально исследуют особенности различных групп движений и возможности их совершенствования. Изучают ныне существующую спортивную технику, а также разрабатывают новую, более рациональную.

Данные об изменениях спортивной техники в процессе тренировки позволяют разрабатывать основу методики технического совершенствования спортсмена. Исходя из особенностей рациональной техники, определяют рациональные пути ее построения, средства и методы повышения спортивно-технического мастерства.

Таким образом, биомеханическое обоснование технической подготовки спортсменов подразумевает: определение особенностей и уровня подготовленности тренирующихся, планирование рациональной спортивной техники, подбор вспомогательных упражнений и «создание тренажеров для специальной физической и технической подготовки, оценку применяемых методов тренировки и контроль за их эффективностью.

**3. Временные характеристики**

Временные характеристики раскрывают движение во времени: когда оно началось и закончилось (момент времени), как долго длилось (длительность движения), как часто выполнялось движение (темп), как они 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. Момент времени (t) определяют промежутком времени до него от начала отсчета: [t] = Т.

Момент времени определяют не только для начала и окончания движения, но и для других важных мгновенных положений. В первую очередь это моменты существенного изменения движения: заканчивается одна часть (фаза) движения и начинается следующая (например, отрыв стопы от опоры в беге – это момент окончания фазы отталкивания и начала фазы полета). По моментам времени определяют длительность движения.

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

Темп движений – это временная мера их повторности. 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 повторяющихся (циклических) движениях темп может служить показателем совершенства техники.

Ритм движений (временной) – это временная мера соотношения частей движений. Он определяется по соотношению длительности частей движения:

Ритм движений характеризует, например, отношение времени опоры к времени полета в беге или времени амортизации (сгибания колена) к времени отталкивания (выпрямления ноги) при опоре.

**4. Пространственно-временные характеристики движения**

По пространственно-временным характеристикам определяют, как изменяются положения и движения человека во времени, как быстро человек изменяет свои положения (скорость) и движения (ускорение).

Скорость точки – это пространственно-временная мера движения точки (быстроты изменения ее положения). Скорость равна первой производной по времени от расстояния в рассматриваемой системе отсчета:

Скорость точки определяется по изменению ее координат во времени. Скорость – величина векторная, она характеризует быстроту движения и его направление. Так как скорость движений человека чаще всего не постоянная, а переменная (движение неравномерное и криволинейное), для разбора упражнений определяют мгновенные скорости.

Ускорение точки – это пространственно-временная мера изменения движения точки (быстрота изменения движения – по величине и направлению скорости). Ускорение точки равно первой производной по времени от скорости этой точки в рассматриваемой системе отсчета:

Ускорение точки определяется по изменению ее скорости во времени. Ускорение – величина векторная, характеризующая быстроту изменения скорости по ее величине и направлению в данный момент.

**5. Инерционные характеристики**

Свойство инертности тел раскрывается в первом законе Ньютона:

«Всякое тело сохраняет свое состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения до тех пор, пока внешние приложенные силы, не изменят это состояние».

Иначе говоря, всякое тело сохраняет скорость, пока ее не изменяв силы.

Понятие об инертности:

Любые тела сохраняют скорость неизменной при отсутствии внешних воздействий одинаково. Это свойство, не имеющее меры, и предлагается называть инерцией 1. Разные тела изменяют скорость под действием сил по-разному. Это их свойство, следовательно, имеет меру: его называют инертностью. Именно инертность и представляет интерес, когда надо оценить, как изменяется скорость.

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

Сохранение скорости неизменной (движение как бы по инерции) в реальных условиях возможно только тогда, когда все внешние силы, приложенные к телу, взаимно уравновешены. В остальных случаях неуравновешенные внешние силы изменяют скорость тела в соответствии с мерой его инертности. Момент инерции тела – это мера инертности тела при вращательном движении. Момент инерции тела относительно оси равен сумме произведений масс всех материальных точек тела на квадраты их расстояний от данной оси

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

**6. Звенья тела как рычаги и маятники**

Точки соединения, которые можно рассматривать либо как точки опоры (для рычага), либо как точки отвеса (для маятника).

Рычаг характеризуется расстоянием между точкой приложения силы и точкой вращения. Рычаги бывают первого и второго рода.

Рычаг первого рода или рычаг равновесия состоит только из одного звена. Пример – крепление черепа к позвоночнику.

Рычаг второго рода характеризуется наличием двух звеньев. Условно можно выделить рычаг скорости и рычаг силы в зависимости от того, что преобладает в их действиях. Рычаг скорости дает выигрыш в скорости при совершенствовании работы. Пример – локтевой сустав с грузом на ладони. Рычаг силы дает выигрыш в силе. Пример – стопа на пальцах.

Поскольку тело человека выполняет свои движения в трехмерном пространстве, то его звенья характеризуются степенями свободы, т.е. возможностью совершать поступательные и вращательные движения во всех измерениях. Если звено закреплено в одной точке, то оно способно совершать вращательные движения и мы можем сказать, что оно имеет три степени свободы.

Закрепление звена приводит к образованию связи, т.е. связанному движению закрепленного звена с точкой закрепления. Поскольку руки и ноги человека могут совершать колебательные движения, то к механике их движения применимы те же формулы, что и для простых механических маятников. Основные вывод их них – собственная частота колебаний не зависит от массы качающегося тела, но зависит от его длины (при увеличении длины частота колебаний уменьшается).

Делая частоту шагов при ходьбе или беге или гребков при плавании или гребле резонансной (т.е. близкой к собственной частоте колебаний руки или ноги), удается минимизировать затраты энергии. При наиболее экономичном сочетании частоты и длины шагов или гребков человек демонстрирует существенный рост работоспособности. Простой пример: при беге высокий спортсмен имеет большую длину шага и меньшую частоту шагов, чем более низкорослый спортсмен, при равной с ним скорости передвижения.

**7. Механические свойства мышц**

Двигательная деятельность человека происходит при помощи мышечной ткани, обладающей сократительными структурами. Работа мышц осуществляется благодаря сокращению (укорачиванию с утолщением) миофибрилл, которые находятся в мышечных клетках. Работа мышц осуществляется посредством их присоединения к скелету при помощи сухожилий.

К биомеханическим свойствам мышц относят сократимость, упругость, жесткость, прочность и релаксацию.

Сократимость – это способность мышцы сокращаться при возбуждении. В результате сокращения происходит укорочение мышцы и возникает сила тяги.

Упругость мышцы состоит в ее способности восстанавливать первоначальную длину после устранения деформирующей силы. Существование упругих свойств объясняется тем, что при растяжении в мышце возникает энергия упругой деформации. При этом мышцу можно сравнить с пружиной: чем сильнее растянута пружина, тем большая энергия в ней запасена. Это явление широко используется в спорте. Например, в хлесте предварительно растягиваются и параллельный, и последовательный упругий компонент мышц, чем накапливается энергия. Запасенная таким образом энергия в финальной части движения (толкания, метания и т.д.) преобразуется в энергию движения (кинетическую энергию).

Аналогия мышцы с пружиной позволяет применить к ее работе закон Гука, согласно которому удлинение пружины нелинейно зависит от величины растягивающей силы. Кривую поведения мышцы в этом случае называют «сила-длина». Зависимость между силой и скоростью мышечного сокращения («сила-скорость») называют кривой Хилла.

Жесткость – это способность противодействовать прикладываемым силам. Коэффициент жесткости определяется как отношение приращения восстанавливающей силы к приращению длины мышцы под действием внешней силы: Кж=DF/Dl (Н/м).

Величина, обратная жесткости, называется податливостью мышцы. Коэффициент податливости: Кп=Dl /DF (м/Н) – показывает, насколько удлинится мышца при изменении внешней силы. Например, податливость сгибателя предплечья близка к 1 мм/Н.

Прочность мышцы оценивается величиной растягивающей силы, при которой происходит разрыв мышцы. Сила, при которой происходит разрыв мышцы составляет от 0.1 до 0.3 Н/мм2. Предел прочности сухожилий на два порядка величины больше и составляет 50 Н/мм2. Однако, при очень быстрых движениях возможен разрыв более прочного сухожилия, а мышца остается целой, успев самортизировать.

Релаксация – свойство мышца, проявляющееся в постепенном уменьшении силы тяги при постоянной длине мышцы. Релаксация проявляется, например, при прыжке вверх, если во время глубокого приседа спортсмен делает паузу. Чем пауза длительнее, тем сила отталкивания и высота выпрыгивания меньше.

Существует два вида группового взаимодействия мышц: синергизм и антагонизм.

Мышцы-синергисты перемещают звенья тела в одном направлении. Например, при сгибании руки в локтевом суставе участвуют двуглавая мышца плеча, плечевая и плече-лучевая мышцы и т.д. Результатом синергического взаимодействия мышц служит увеличение результирующей силы действия. При наличии травмы, а также при локальном утомлении какой-либо мышцы ее синергисты обеспечивают выполнение двигательного действия.

Мышцы-антагонисты имеют, наоборот, разнонаправленное действие. Так, если одна из них выполняет преодолевающую работу, то другая – уступающую.

Механические свойства костей определяются их разнообразными функциями; кроме двигательной, они выполняют защитную и опорную функции. Так кости черепа и грудной клетки защищают внутренние органы, а кости позвоночника и конечностей выполняют опорную функцию.

Выделяют 4 вида механического воздействия на кость: растяжение, сжатие, изгиб и кручение. Установлено, что прочность кости на растяжение почти равна прочности чугуна. При сжатии прочность костей еще выше. Самая массивная кость – большеберцовая (основная кость бедра) выдерживает силу сжатия в 16–18 кН.

Менее прочны кости на изгиб и кручение. Однако регулярные тренировки приводят к гипертрофии костей. Так, у штангистов утолщаются кости ног и позвоночника, у теннисистов – кости предплечья и т.п.

Механические свойства суставов зависят от их строения. Суставная поверхность смачивается синовиальной жидкостью, которую хранит суставная сумка. Синовиальная жидкость обеспечивает уменьшение трения в суставе примерно в 20 раз. При этом при снижении нагрузки на сустав жидкость поглощается губчатыми образованиями сустава, а при увеличении нагрузки она выжимается для смачивания поверхности сустава и уменьшения коэффициента трения.

**8. Геометрия масс тела**

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

Общий центр масс тела человека – Вес отдельных звеньев тела зависит от веса тела в целом. Приближенные величины относительного веса звеньев тела. относительный вес отдельных звеньев тела не постоянен. Например, если человек, весивший 60 кг, затем, поправившись, стал весить 90 кг, то это не означает, что все звенья его тела, в частности стопы, кисти, голова, стали тоже в 1,5 раза тяжелее. Более точно можно определить вес отдельных звеньев тела, использовав уравнения регрессии, приведенные в табл. 2

Центр масс твердого тела является вполне определенной фиксированной точкой, не изменяющей своего положения относительно тела. Центр масс системы тел может менять свое положение, если изменяются расстояния между точками этой системы.

В биомеханике различают центры масс отдельных звеньев тела (например, голени или предплечья) и центр масс всего тела.

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

При изменении позы ОЦМ тела, естественно, смещается и в некоторых случаях, в частности при наклонах вперед и назад, может находиться вне тела человека.

Чтобы определить положение ОЦМ тела, используют либо экспериментальные, либо расчетные методы.

**9. Составные движения в биокинематичеких цепях**

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

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

Когда в составном движений принимают участие два тела, то обычно составляющие движения называют переносными и относительными. Платформа как бы переносит на себе движение по ней груза; движение платформы переносное. Движение же груза по платформе относительно системы отсчета, связанной с самой платформой, относительное. Тогда движение груза в неподвижной системе отсчета (Земля) результирующее: это результат двух составляющих движений.

В теле человека таких движений не бывает, так как почти во всех суставах звенья движутся вокруг осей сочленений. В биокинематических цепях обычно движется много звеньев; одни «несут» на себе движения других (несущие и несомые движения). Несущее движение (например, мах бедром при выносе ноги в беге) изменяет несомое (сгибание голени).

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

Сложнее составные движения, в которых составляющие движения вращательные (по дуге окружности) и поступательные (вдоль радиуса)

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

**10. Биомеханическая характеристика силовых качеств**

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

Сила – это мера механического действия одного тела на другое Численно она определяется произведением массы тела на его ускорение, вызванное данной силой:

Момент силы – это мера вращающего действия силы на тело

Сила действия человека (СДЧ), как и всякая другая сила, может быть представлена в виде вектора и определена указанием: 1) направления, 2) величины (скалярной) и 3) точки приложения.

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

Понятие о силовых качествах

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

Силовые качества Условия проявления

1. Собственно-силовые Статический режим и медленные (статическая сила) движения

2. Скоростно-силовые:

а) динамическая сила Быстрые движения

б) амортизационная сила Уступающие движения

Сила действия человека и сила мышц

Сила действия человека непосредственно зависит от сил тяги мышц, т.е. сил, с которыми отдельные мышцы тянут за костные рычаги. Однако между натяжением той или иной мышцы и силой действия нет однозначного соответствия. Это объясняется, во-первых, тем, что почти любое движение происходит в результате сокращения большого числа мышечных групп; сила действия – итог их совместной активности; и, во-вторых, тем, что при изменении суставных углов меняются условия тяги мышц за кость, в частности плечи сил мышечной тяги

**11. Биомеханическая характеристика скоростных качеств**

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

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

1) скорость одиночного движения (при малом внешнем сопротивлении);

2) частоту движений;

3) латентное время реакции.

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

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

**12. Биомеханическая характеристика выносливости**

Выносливостью называется способность противостоять утомлению. При прочих равных условиях у более выносливых людей наступает позже как первая, так и вторая фаза утомления. Основным мерилом выносливости считают время, в течение которого человек способен поддерживать заданную интенсивность двигательного задания. Согласно правилу обратимости двигательных заданий, для измерения выносливости можно использовать и другие эргометрические показатели. Рассмотрим пример: спортсмены лежа выжимают «до отказа» штангу 50 кг. Если не учитывать уровень их максимальной (F mm) силы, то более выносливыми следует считать тех, кто смог поднять штангу большее число раз. Если же учесть, что максимальная сила у одних спортсменов невелика (скажем, 55 кг), а у других намного больше, то ясно, что на полученный результат повлияет не только разный уровень выносливости испытуемых, но и разные силовые возможности. Устранить их влияние можно было бы, например, так: предложить всем выжимать штангу, вес которой равен определенному проценту от их максимальной силы (скажем, 50% от F mm). В первом случае интенсивность задания уравнивалась в абсолютных единицах (килограммах), во втором – в относительных (в% от R m).

Примерами латентных показателей выносливости могут быть:

1. Коэффициент выносливости – отношение времени преодоления всей дистанции ко времени преодоления какого-либо короткого отрезка (100 м в беге, 50 м в плавании и т.п.): KB = t д, где t эт – время на дистанции (например, 400 м за 48,0 с), t 3 T – лучшее время на коротком («эталонной») отрезке (100 м – 11,0 с). KB = 48,0:11,0 = 4,3636.

2. Запас скорости (по Н.Г. Озолину) – разность между средним временем преодоления эталонного отрезка при прохождении всей дистанции и лучшим временем на этом отрезке. Запас скорости (3 C)= t д: n – t 3 r, где и – число, показывающее, во сколько раз эталонный отрезок меньше всей дистанции (400 м: 100 м = 4). Запас скорости =48,0:4–11,0 = 1 с.

Чем меньше запас скорости, тем выше выносливость. С ростом спортивной квалификации запас скорости, как правило, уменьшается. Например, у сильнейших бегунов мира на 400 м он равен 0,9–1,0 с, у начинающих – 2–2,5 с. С увеличением дистанции запас скорости также увеличивается.

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

**13. Биомеханическая характеристика гибкости**

Гибкостью называется способность выполнять движения с большой амплитудой. Слово «гибкость» используется обычно как более общий термин. Применительно к отдельным суставам говорят о подвижности в них. Для точного измерения гибкости (подвижности в суставах) надо измерить угол в соответствующем сочленении в крайнем возможном положении между сочленяющимися звеньями. Измерение углов движений в суставах, как известно, называется гониометрией (от греч. «гони» – угол и «метр» – мера). Поэтому говорят, что для измерения гибкости используются гиниометрические показатели. Наиболее детальный способ измерения гибкости – так называемый глобографический. При этом поверхность, очерчиваемая в пространстве дистальной точкой движущейся кости, рассматривается как «глобус», на котором определяют предельные значения «меридианов» и «параллелей». В спортивной практике для измерения гибкости нередко используют не угловые, а линейные меры (рис. 60, В). В этом случае на результате измерения могут сказаться размеры тела, например длина рук (при наклоне вперед или выполнении выкрута с палкой), длина туловища (при измерении расстояния между руками и ногами во время выполнения гимнастического моста). Поэтому линейные меры менее точны, и, применяя их, следует вводить поправки, устраняющие нежелательное влияние размеров тела.

Выделяют активную и пассивную гибкость. Активная гибкость – способность выполнять движения в каком-либо суставе с большой амплитудой за счет активности мышечных групп, проходящих через этот сустав (пример: амплитуда подъема ноги в равновесии «ласточка»). Пассивная гибкость определяется наивысшей амплитудой, которую можно достичь за счет внешних сил. Показатели пассивной гибкости больше соответствующих показателей активной гибкости. Разница между ними называется дефицитом активной гибкости. Он определяется зависимостью «длина – сила тяги» активной мышцы, в частности величиной сипы тяги, которую может проявить мышца при своем наибольшем укорочении. Если эта сила недостаточна для дальнейшего перемещения сочленяющихся звеньев тела, то говорят об активной недостаточности мышцы. Экспериментально показано, что активная недостаточность может быть уменьшена (соответственно уменьшен дефицит активной гибкости и повышена сама активная гибкость) за счет силовых упражнений, выполняемых с большой амплитудой движения. Рост силовых качеств приводит в этом случае к увеличению показателей активной гибкости.

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

В спорте не следует добиваться предельного развития гибкости. Ее надо развивать лишь до такой степени, которая обеспечивает беспрепятственное выполнение необходимых движений. При этом величина гибкости должна несколько превосходить ту максимальную амплитуду, с которой выполняется движение («запас гибкости»).

**14. Связь биомеханики с другими науками**

Биомеханика как одна из биологических наук нового типа начинает сближаться по методам исследования с точными науками. Общая биомеханика как раздел биофизики, включающая изучение внутриорганизменных биосистем, возникла на стыке физико-математических и биологических областей знания. Успехи этих наук, использование идей и подходов кибернетики, а также научно-технический прогресс так или иначе сказываются на развитии биомеханики. В свою очередь, эти науки обогащаются данными биомеханики о физике живого. В биомеханических исследованиях применяются методы этих смежных наук; в то же время в исследованиях их проблем могут применяться биомеханические методы. Здесь налицо двусторонняя связь, обеспечивающая взаимное обогащение теории и методов исследования.

Несколько иначе связана биомеханика с отраслями знания, в которых изучаются конкретные области прикладной двигательной деятельности. Так, развивающаяся инженерная биомеханика смыкается с бионикой, инженерной психологией («человек и машина»), связана с разработкой роботов, манипуляторов и других технических устройств, умножающих возможности человека в труде. Медицинская биомеханика дает обоснование ряду методов протезирования, протезостроения, травматологии, ортопедии, лечебной физической культуры. В космической медицине решаются задачи подготовки космонавтов, обеспечения их работоспособности в условиях невесомости, а также двигательных действий в космосе. Биомеханика как бы обслуживает эти области деятельности в процессе решения их прикладных задач.

Методы и законы биомеханики спорта используются также для совершенствования теории и методики физического воспитания, врачебного контроля, спортивно-педагогических и других дисциплин, решающих свои конкретные задачи в области физического воспитания.

**15. Сила и момент силы**

Сила – это мера механического действия одного тела на другое Численно она определяется произведением массы тела на его ускорение, вызванное данной силой:

Измерение силы, так же как и массы, основано на втором закон! Ньютона. Сила, приложенная к данному телу, вызывает его ускорение Источником силы служит другое тело; следовательно, взаимодействуют два тела. Таким образом, имеется «действие» второго тела на первое и «противодействие» первого тела, приложенное ко второму; Поскольку действие и противодействие приложены к разным телам их нельзя складывать, заменять равнодействующей.

Момент силы – это мера вращающего действия силы на тело; он определяется произведением модуля силы на ее плечо. Момент силы считают положительным, когда сила вызывает поворот тела против часовой стрелки, и отрицательным при повороте тела по часовой стрелке (со стороны наблюдателя).

Момент силы – величина векторная: сила проявляет свое вращающее действие, когда она приложена на ее плече (рис. 8, а). Иначе! говоря, линия действия силы не должна проходить через ось вращения. Если сила лежит не в плоскости, перпендикулярной к оси, находят составляющую силы, лежащую в этой плоскости (рис. 8, б); она и вызывает момент силы относительно оси. Остальные составляющие на него не влияют. Понятно, что сила, совпадающая с осью или параллельная ей, также не имеет плеча относительно оси, а следовательно, нет и ее момента.

**16. Импульс силы**

Импульс силы – это мера воздействия силы на тело за данный промежуток времени (в поступательном движении). За конечный промежуток времени он равен определенному интегралу от элементарного импульса силы, где пределами интегрирования являются моменты начала и конца промежутка времени действия силы:

В случае одновременного действия нескольких сил сумма их импульсов равна импульсу их равнодействующей за то же время. Любая сила, приложенная даже в доли секунды (например, при отталкивании коньком от льда), имеет импульс (рис. 9).

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).

**17. Соединение звеньев тела**

Соединенные два соседних звена тела образуют пару, а пары, в свою очередь, соединены в цепи.

Биокинематическая пара – это подвижное (кинематическое) соединение двух костных звеньев, в котором возможности движений определяются его строением и управляющим воздействием мышц. В технических механизмах соединения двух звеньев – кинематические пары – устроены обычно так, что возможны лишь вполне определенные, заранее заданные движения. Одни возможности не ограничены (их характеризуют степени свободы движения), другие полностью ограничены (их характеризуют степени связи).

Различают связи: а) геометрические (постоянные препятствия перемещению в каком-либо направлении, например костное ограничение в суставе) и б) кинематические (ограничение скорости, например мышцей-антагонистом).

В биокинематичеких парах имеются постоянные степени связи, которые определяют собой сколько как максимум и каких остается степеней свободы движения. Почти все биокинематические пары в основном вращательные (шарнирные); немногие допускают чисто поступательное скольжение звеньев относительно друг друга и лишь одна пара (голеностопный сустав) – винтовое движение.

Биокинематическая цепь – это последовательное либо незамкнутое (разветвленное), либо замкнутое соединение ряда биокинематических пар (рис. 10, а).

В незамкнутых цепях имеется свободное (конечное) звено, входящее лишь в одну пару. В замкнутых цепях нет свободного конечного звена, каждое звено входит в две пары.

В незамкнутой цепи, следовательно, возможны изолированные движения в каждом отдельно взятом суставе. В двигательных действиях движения в незамкнутых цепях происходят обычно одновременно во многих суставах, но возможность изолированного движения не исключена.

В замкнутой цепи изолированные движения в одном суставе невозможны: в движение неизбежно одновременно вовлекаются и другие соединения (рис. 10, б).

Значительная часть незамкнутых биокинематических цепей оснащена многосуставными мышцами. Поэтому движения в одних суставах через такие мышцы бывают связаны с движениями в соседних суставах. Однако при точном управлении движениями во многих случаях эту взаимную связь можно преодолеть, «выключить». В замкнутых же цепях связь непреодолима и действия мышц обязательно передаются на отдаленные суставы.

Незамкнутая цепь может стать замкнутой, если конечное свободное звено получит связь (опора, захват) с другим звеном цепи (непосредственно или через какое-либо тело).

**18. Степени свободы в биомеханических цепях**

Если у физического тела нет никаких ограничений (связей), оно может двигаться в пространстве во всех трех измерениях, т.е. г относительно трех взаимно перпендикулярных осей (поступательно), а также вокруг них (вращательно). Следовательно, у такого тела шесть степеней свободы движения.

Каждая связь уменьшает число степеней свободы. Зафиксировав одну точку свободного тела, сделав его звеном пары, фазу лишают его трех степеней свободы – возможных линейных перемещений вдоль трех основных осей координат. Примером может служить шаровидный сустав – тазобедренный, в котором три степени свободы из шести (возможно вращение относительно трех осей). Закрепление двух точек звена говорит о наличии оси, проходящей через эти точки. В таком случае остается одна степень свободы. Пример подобного ограничения – одноосный сустав, например межфаланговый. Закрепление третьей точки, не лежащей на этой оси, полностью лишает звено свободы движений. Такое соединение к суставам не относится. В анатомии выделяют также двуосные суставы; они имеют вторую степень свободы вследствие неконгруэнтности (неполного соответствия по форме) суставных поверхностей (суставы лучезапястный и пястнофаланговый 1-го пальца).

Почти во всех суставах (кроме межфаланговых, лучелоктевых и атлантоосевого) степеней свободы больше, чем одна. Поэтому устройство пассивного аппарата в них обусловливает неопределенность движений, множество возможностей движений («неполносвязный механизм»). Управляющие воздействия мышц вызывают дополнительные связи и оставляют для движения только одну степень свободы («полносвязный механизм»). Так обеспечивается одна-единственная возможность движений – именно та, которая требуется.

**19. Строение тела и моторика человека**

Как двигательные возможности людей, так и многие индивидуальные черты спортивной техники в значительной степени зависят от особенностей телосложения. К ним в первую очередь относят:

а) тотальные размеры тела – основные размеры, характеризующие его величину (длина тела, вес, окружность грудной клетки, поверхность тела и т.п.);

б) пропорции тела – соотношение размеров отдельных частей тела (конечностей, туловища и др.);

в) конституциональные особенности.

Тотальные размеры тела у людей существенно различны. В одном и том же виде спорта (например, в борьбе или тяжелой атлетике) можно встретить спортсменов с весом тела менее 50 и свыше 150 кг. Двигательные возможности этих спортсменов будут разными.

При одинаковом уровне тренированности люди большего веса могут проявлять большую силу действия. С этим, в частности, связано деление на весовые категории в таких видах спорта, как борьба, бокс, тяжелая атлетика.

Для сравнения силовых качеств людей различного веса обычно пользуются понятием «относительная сила», под которым понимают величину силы действия, приходящейся на 1 кг собственного веса. Силу действия, которую спортсмен проявляет в каком-либо движении безотносительно к собственному весу, иногда называют абсолютной силой:

У людей примерно одинаковой тренированности, но разного веса абсолютная сила с увеличением веса возрастает, а относительная падает (рис.). Аналогичные закономерности наблюдаются и в отношении некоторых других функциональных показателей (например, максимального потребления кислорода – МПК). В то же время, скажем, высота подъема ОЦТ в прыжках или дистанционная скорость бега не зависят от тотальных размеров тела, а максимальная частота движений и стартовое ускорение уменьшаются с их увеличением.

**20. Роль созревания в онтогенезе моторики**

Онтогенезом моторики называется изменение движений и двигательных возможностей человека на протяжении его жизни. Новорожденный – существо, не владеющее даже простейшими движениями. С возрастом его двигательные возможности расширяются, достигают расцвета в молодости и постепенно снижаются к старости.

Роль созревания и научения в онтогенезе моторики:

Два основных фактора определяют развитие моторики – созревание и научение. Созреванием называются наследственно обусловленные изменения анатомического строения и физиологических функций организма, происходящие в течение жизни человека: увеличение размеров и изменение формы тела ребенка в процессе его роста, изменения, связанные с половым созреванием, старением и др. В раннем детстве громадное значение имеет дозревание нервно-мышечного аппарата (в частности, коры больших полушарий головного мозга, которая к моменту рождения еще не сформировалась). В основных чертах двигательный аппарат ребенка формируется лишь к 2–2,5 годам. Под научением понимают освоение новых движений или совершенствование в них под влиянием специальной практики, обучения или тренировки. Таким образом, онтогенез моторики определяется взаимодействием созревания и научения. При попытках, в частности, раздельного обучения близнецов было показано, что сроки овладения некоторыми движениями (например, начало ходьбы) не изменялись под влиянием обучения и помощи; другие движения осваивались намного быстрее обычного (например, можно обучить ребенка катанию на роликовых коньках одновременно с началом ходьбы, а обучить плавать даже раньше, чем ходить). Однако иногда чрезмерно раннее обучение мешает овладению движением. Например, годовалые дети, ежедневно обучавшиеся в течение полугода езде на трехколесном велосипеде, хуже ездили на нем впоследствии из-за неправильных навыков и потери интереса, чем дети, которые впервые сели на велосипед в более позднем возрасте.

*Двигательный возраст:*

Если измерить результаты в каких-либо двигательных заданиях большой группы детей одного возраста, то можно определить средние достижения, которые они показывают. Зная затем результаты отдельного ребенка, можно установить, какому возрасту в среднем соответствует данный результат. Таким образом определяют двигательный возраст детей.

Конечно, не все дети одного и того же возраста показывают одинаковые результаты. Детей, у которых двигательный возраст опережает календарный, называют двигательными акселератами. Детей, у которых двигательное развитие отстает, называют двигательными ретардантами. Например, если подросток в возрасте 14 лет и 2 месяца прыгает в длину с места на 170 см, он двигательный ретардант (в этом упражнении), а если его результат более 210 см, – двигательный акселерат.

*Прогноз развития моторики*

При начальном выборе спортивной специализации, отборе в ДЮСШ и некоторые специальные школы (балетную, цирковую и др.) встает задача прогноза двигательной одаренности. Как порекомендовать ребенку именно тот вид спорта, в котором он сможет добиться наибольших успехов, как выявить наиболее одаренных? Для ответа на эти вопросы проводят научные исследования в двух основных направлениях:

а) изучение стабильности показателей моторики,

б) изучение наследственных влияний.

**21. Биодинамика прыжка**

В прыжках расстояние преодолевается полетом. При этом достигается либо наибольшая длина прыжка (прыжок в длину с разбега, тройной прыжок), либо наибольшая высота (прыжок в высоту с разбега, прыжок с шестом), либо значительная и длина и высота (опорный прыжок в гимнастике).

Разбег

В разбеге решаются две задачи: создание необходимой скорости к моменту прихода на место отталкивания и создание оптимальных условий для опорного взаимодействия.

Отталкивание

Отталкивание от опоры в прыжках совершается за счет выпрямления толчковой нога, маховых движений рук и туловища. Задача отталкивания – обеспечить максимальную величину вектора начальной скорости ОЦМ и оптимальное ее направление. После отталкивания, в полете, тело спортсмена всегда совершает движения вокруг осей. Поэтому в задачи отталкивания входит также и начало управления этими движениями.

Полет

В полете траектория ОЦМ предопределена величиной и направлением вектора начальной скорости ОЦМ (углом вылета). Движения представляют собой движения звеньев вокруг осей, проходящих через ОЦМ. Задача сводится к возможно более дальнему приземлению, удерживая стопы как можно выше.

**22. Движения центра масс системы**

Центром масс называется точка, где пересекаются линии действия всех сил, не вызывающих вращение тела. В поле тяготения центр масс совпадает с центром тяжести. Положение общего центра масс тела определяется тем, где находятся центры масс отдельных звеньев. Для человека это зависит от его позы, т.е. пространственного положения элементов тела.

В человеческом теле около 70 звеньев, но для биомеханического моделирования чаще всего достаточно 15-звенной модели человеческого тела (например, голова, бедро, стопа, кисть и т.д.). Зная, каковы массы и моменты инерции звеньев тела и где расположены их центры масс, можно решить многие задачи биомеханики, в том числе:

определить импульс тела;

определить момент количества движения, при этом надо учитывать, что величины моментов относительно разных осей неодинаковы;

оценить, легко или трудно управлять скоростью тела или отдельного звена;

определить степень устойчивости тела и т.д.

**23. Эффективность техники, ее виды**

Эффективностью владения спортивной техникой (или эффективностью техники) того или иного спортсмена называется степень близости ее к наиболее рациональному варианту. Эффективность техники (в отличие от рациональности) – это характеристика не того или иного варианта техники, а качества владения техникой.

В зависимости от того, как определяется рациональная техника (образец, стандарт), различают три группы показателей ее эффективности.

Показатели *абсолютной эффективности* характеризуют близость к образцу, в качестве которого выбирается наиболее рациональный вариант техники, определенный на основе биомеханических, физиологических, психологических, эстетических соображений.

В простейшем случае мерой эффективности техники может явиться показанный спортсменом результат. Таким способом часто оценивают эффективность технических приемов в единоборствах и спортивных играх. Например, в баскетболе эффективность техники штрафных бросков естественно оценивать по проценту попаданий.

Сравнительная эффективность – В этом случае за образец берется техника спортсменов высокой квалификации. Те признаки техники, которые закономерно отличаются у спортсменов разной квалификации (т.е. изменяются с ростом спортивного мастерства), называются дискриминативными 1 призна­ками. Такие признаки эффективности техники используют в качестве основных показателей лишь тогда, когда техника движений очень сложна и на основе биомеханического анализа не удается определить ее наиболее рациональный вариант. В других случаях дискриминативные признаки дополняют показатели абсолютной эффективности, очень часто совпадая с ними.

При оценке эффективности техники с помощью дискриминативных признаков надо помнить, что техника даже выдающихся спортсменов может быть не вполне рациональной.

Реализационная эффективность (эффективность реализации) – Идея этих показателей состоит в сопоставлении показанного спортсменом результата либо с тем достижением, которое он по уровню развития своих двигательных качеств потенциально может показать (вариант «А»), либо с затратами энергии и сил при выполнении оцениваемого спортивного движения (вариант «Б»).

Вариант «А». В данном случае эффективность техники оценивается по тому, насколько хорошо спортсмен использовал в движении свои двигательные возможности. При таком подходе опираются на существование связей между тремя показателями: спортивным результатом, уровнем развития двигательных качеств, эффективностью техники.

Практически это осуществляется путем сравнения результатов спортсмена:

а) в технически сложном действии (как правило, это то движение, в котором специализируется спортсмен);

б) в технически более простых заданиях, требующих развития тех же двигательных качеств, что и основные.

**24. Строение биомеханической системы**

Для изучения опорно-двигательного аппарата человека как биомеханической системы необходимо последовательно рассмотреть строение этой системы и ее свойства. С точки зрения биомеханики опорно-двигательный аппарат – это управляемые биокинематические цепи (звенья и их соединения), оснащенные группами мышц. Вместе они выполняют задаваемые движения как биомеханизм.

Самой характерной чертой строения биомеханической системы считается его переменный характер. И число движущихся звеньев, и степени свободы движений, и состав мышечных групп, и их взаимодействия переменны.

*Звенья биокинематических цепей*

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

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

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

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

*Механизмы соединений*

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

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

Направление движений, скорости звеньев и размах движений в ряде суставов взаимосвязаны благодаря совместному действию многосуставных мышц.

**25. Перемещающие движения**

Перемещающимися в биомеханике называют движения, задача которых – перемещение какого-либо тела (снаряда, мяча, соперника, партнера). Перемещающие движения разнообразны. Примерами в спорте могут быть метания, удары по мячу, броски партнера в акробатике и т.п.

К перемещающим движениям в спорте обычно предъявляются требования достичь максимальных величин:

а) силы действия (при подъеме штанги), б) скорости перемещаемого тела, (в метаниях), в) точности (штрафные броски в баскетболе). Нередки и случаи, когда эти требования (например, скорости и точности) предъявляются совместно.

Среди перемещающих различают движения:

а) с разгоном перемещаемых тел (например, метание копья),

б) с ударным взаимодействием (например, удары в теннисе или футболе).

Поскольку большинство спортивных перемещающих движений связано с сообщением скорости вылета какому-нибудь снаряду (мячу, снаряду для метания), рассмотрим прежде всего механические основы полета спортивных снарядов.

*Полет спортивных снарядов*

Траектория (в частности, дальность) полета снаряда определяется:

а) начальной скоростью вылета,

б) углом вылета,

в) местом (высотой) выпуска снаряда,

г) вращением снаряда и

д) сопротивлением воздуха, которое, в свою очередь, зависит от аэродинамических свойств снаряда, силы и направления ветра, плотности воздуха (в горах, где атмосферное давление ниже, плотность воздуха меньше и спортивный снаряд при тех же начальных условиях вылета может пролететь большее расстояние).

**26.** **Биомеханика ударных действий**

Ударными в биомеханике называются действия, результат которых достигается механическим ударом. В ударных действиях различают:

1. Замах – движение, предшествующее ударному движению и приводящее к увеличению расстояния между ударным звеном тела и предметом, по которому наносится удар. Эта фаза наиболее вариативна.

2. Ударное движение – от конца замаха до начала удара.

3. Ударное взаимодействие (или собственно удар) – столкновение ударяющихся тел.

4. Послеударное движение – движение ударного звена тела после прекращения контакта с предметом, по которому наносится удар.