

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Институт физической культуры и спорта
Кафедра «Адаптивная физическая культура, спорт и туризм»

А.А. Джалилов, К.Л. Меркурьев

БИОМЕХАНИКА ДВИГАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Электронное учебное пособие



ISBN 978-5-8259-1432-9

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2019

УДК 612.76(075.8)
ББК 75.00:73

Рецензенты:

канд. пед. наук, доцент, директор специализированной детско-юношеской спортивной школы олимпийского резерва № 3 «Легкая атлетика» г. о. Тольятти *Е.Н. Гогонов*;
канд. психол. наук, доцент кафедры «Физическое воспитание» Тольяттинского государственного университета *Н.Г. Русакова*.

Джалилов, А.А. Биомеханика двигательной деятельности : электронное учебное пособие / А.А. Джалилов, К.Л. Меркурьев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – 1 оптический диск.

Учебное пособие раскрывает кинематические (пространственно-временные), динамические (силовые) и энергетические характеристики, направленные на изучение внешних и внутренних показателей движений человека. Эта информация позволит студентам самостоятельно освоить и применить научные данные для теории и практики физической культуры и спорта, освоить наиболее трудные разделы теоретического и практического курса биомеханики спорта.

Предназначено для студентов направлений подготовки 49.03.01 «Физическая культура», 49.03.02 «Физическая культура для лиц с отклонениями в состоянии здоровья (адаптивная физическая культура)» очной и заочной форм обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2019



Редактор *Л.Н. Ворожцова*
Технический редактор *Н.П. Крюкова*
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
Художественное оформление,
компьютерное проектирование: *И.В. Карасев, Г.В. Карасева*

Дата подписания к использованию 06.05.2019.

Объем издания 23 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-76-17.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	6
Глава 1. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА И ЕГО ДВИЖЕНИЙ	8
1.1. Предмет механики человека	8
1.2. Понятие о биомеханической системе	9
1.3. Механическое движение в живых системах	12
1.4. Модели физико-механических свойств тел	14
1.5. Механическое воздействие на весь организм	16
Контрольные вопросы	18
Задание для самоконтроля и закрепления знаний	18
Глава 2. АНАТОМО-БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЧЕЛОВЕКА	19
2.1. Биомеханика опорно-двигательного аппарата	19
2.2. Механические виды нагружения и их воздействие на тело человека	32
2.3. Биомеханика повреждений позвоночника	42
2.4. Амортизация ударных нагрузок	45
2.5. Механическая работа и энергия при ходьбе	50
2.6. Биоэнергетика двигательных действий	51
Контрольные вопросы	55
Задания для самоконтроля и закрепления знаний	55
Глава 3. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ И ФУНКЦИИ ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЧЕЛОВЕКА	56
3.1. Общая характеристика двигательного аппарата	56
3.2. Синергизм и антагонизм в работе мышц	62
3.3. Моторная асимметрия	66
3.4. Виды механической работы мышц	73
Контрольные вопросы	80
Задания для самоконтроля и закрепления знаний	80
Глава 4. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	81
4.1. Основные понятия кинематики	81
4.2. Способы задания движения точки	86

4.3. Определение скорости точки при естественном способе задания ее движения	88
4.4. Поступательное движение	90
4.5. Основное уравнение динамики вращающегося тела	92
4.6. Временные характеристики	95
Контрольные вопросы	97
Задания для самоконтроля и закрепления знаний	97
Глава 5. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	98
5.1. Инерционные характеристики	98
5.2. Работа силы и ее мощность	100
5.3. Сила и момент силы относительно точки	102
5.4. Импульс силы. Количество движения. Кинетическая энергия	108
5.5. Теорема об изменении количества движения системы	109
5.6. Теорема об изменении механической энергии системы ...	111
5.7. Механический коэффициент полезного действия	114
Контрольные вопросы	115
Задание для самоконтроля и закрепления знаний	115
Глава 6. БИОДИНАМИКА ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ	116
6.1. Гравитационное поле	116
6.2. Центр тяжести тела	118
6.3. Определение координат центра тяжести пространственных тел	121
6.4. Устойчивость равновесия	121
6.5. Биомеханическая сущность физических качеств спортсмена	125
Контрольные вопросы	136
Задание для самоконтроля и закрепления знаний	137
ТЕСТЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ	138
Тест 1. Кинематические характеристики тела человека	138
Тест 2. Динамические характеристики тела человека	155
Тест 3. Энергетические характеристики тела человека	164
Ответы к тестам	175
Библиографический список	176

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы термин «биомеханика» стал все чаще встречаться в научной литературе, на биомеханические темы ведутся оживленные дискуссии специалистов и ученых, работающих в области науки. Некоторые ученые-механики к этому новому научному направлению относятся весьма сдержанно и считают, что привлечение механики в биологию является рискованным и чуть ли не приведет к загрязнению «чистой» механики. Другие ученые считают, что биомеханика является частью биологии, и определяют ее как раздел биофизики. Однако несмотря на дискуссию, ученые стали интенсивно работать над проблемами, возникающими на границе между механикой и биологией. Благодаря успехам в механике изучение техники физических упражнений развивается очень быстро.

Термин *биомеханика* происходит из двух греческих слов: *bios* — жизнь и *texane* — орудие. Как известно, механика — это раздел физики.

Биомеханика — наука о законах механического движения в живых системах.

В самом широком смысле к живым системам (биосистемам) относят: а) целостные системы (например, человек); б) их органы и ткани, а также жидкости и газы в них (внутриорганизменные системы) и даже в) объединения организмов (например, совместно действующая пара акробатов, противодействующие борцы и т. д.).

Биомеханика спорта как учебная дисциплина изучает движения человека в процессе физических упражнений. Она рассматривает двигательные действия спортсмена как системы взаимно связанных активных движений (объект познания). При этом исследуют особенности двигательных действий в различных условиях (область изучения).

Биомеханика имеет свои методы исследования и области применения. Ее успешное теоретическое развитие требует специфических экспериментальных исследований от субклеточного уровня до уровня целостного организма, а также исследований биоматериалов и биопроцессов. Отсюда вытекает необходимость более тесного объединения специалистов из различных областей науки: механики, физиологии, электроники, вычислительной техники и т. п.

Биомеханика имеет дело с исключительно сложным объектом исследования, зависящим от самых разнообразных влияний и воздействий и имеющим многообразные связи. Этим объясняются трудности систематизации и классификации исследований, а также определения области применения механики при исследовании биологических систем. Некоторые физиологи вообще ставят под сомнение возможность применения методов механики к исследованиям органических (живых) систем, поскольку эти методы создавались для исследований неорганических систем. С учетом этих трудностей при биомеханических исследованиях как на микро-, так и на макроуровне следует постоянно учитывать связи различных структур и все время проверять, отражает ли исследуемая модель изучаемый реальный биологический объект.

Вообще при биомеханических исследованиях особенно необходимо сочетание интегрального подхода, объединяющего разные стороны процесса познания, с дифференциальным подходом, отражающим специфику тех или иных конкретных методов.

В настоящем учебном пособии рассмотрен ряд основных вопросов механики с целью помочь студентам, преподавателям и неспециалистам (в области механики) легче войти в круг проблем биомеханики.

Глава 1. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА И ЕГО ДВИЖЕНИЙ

1.1. Предмет механики человека

Механика человека — это раздел механики, в котором методы механики управляемого тела применяются к движениям человека. Эти движения, очевидно, целенаправленны. Физиологи называют такие движения произвольными. Если придерживаться термина, введенного Ньютоном, это движения, следующие воле. Леонардо да Винчи (1452–1519), великий итальянский художник, математик, механик, инженер, один из создателей нового реалистического искусства, много внимания уделял анализу положений и движений человека на основе данных анатомии и механики. Леонардо ясно сознавал, что положения и движения человека и животных подчиняются законам механики. Он заявил: *«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»*. Чтобы построить механику человека, нужно выполнить по крайней мере следующие три основные операции:

1. Научиться строить движения человека, т. е. выражать цели движений человека в виде уравнений, связывающих обобщенные координаты его тела. Таким образом, построение движения в этом смысле возможно только в том случае, если установлены обобщенные координаты тела человека.

2. Научиться получать уравнения механических (т. е. нецеленаправленных) движений тела человека.

3. Научиться составлять и использовать уравнения целенаправленных движений человека.

На этом пути много трудностей, причем первая и важнейшая заключается в том, что тело человека представляет собой с точки зрения механики объект величайшей сложности. Оно состоит из тел, которые с большей степенью точности можно считать твердыми (скелет), и деформируемых тел и деформируемых полостей (мускулы, сосуды), причем в этих полостях содержатся текучие и фильтрующиеся среды, не обладающие свойствами обычных жидкостей. Механика пока не

может указать способы, при помощи которых можно было бы назначить обобщенные координаты и составить уравнения механических движений для объекта такой степени сложности. Поэтому необходимо идти по линии моделирования тела человека.

Как известно, для исследования некоторых движений тела человека, так называемых локомоций (перемещение тела как целого, движение отдельных конечностей и т. п.), с достаточной степенью точности можно изучить тело человека в виде агрегата твердых тел, связанных между собой при помощи разного рода подвижных соединений, причем за время движения одно и то же соединение может оказаться как подвижным, так и неподвижным. Каждое из таких твердых тел назовем звеном, а составленную из звеньев модель — базисной моделью тела человека. Такое название, в частности, означает, что по мере необходимости возможны некоторые усовершенствования этой модели.

Разумеется, нельзя отделить теорию движения живых систем от биологии, так как, когда возникает вопрос о точных движениях тел живых систем, об их мышечном аппарате и его возбуждении центральной нервной системой, механика человека должна развиваться параллельно с биологическими дисциплинами. Однако следует отметить, что те разделы биологических наук, которые связаны с теорией целенаправленных движений человека, практически совсем не разработаны и почти не разрабатываются, поскольку интересы биологов (в том числе и биомехаников) направлены совсем в другую сторону, и это остается актуальной проблемой.

1.2. Понятие о биомеханической системе

Совокупность материальных точек, связанных между собой силами взаимодействия, называется механической системой.

Любое материальное тело рассматривается в механике как механическая система, образуемая совокупностью материальных точек. Причем абсолютно твердое тело носит название неизменяемой механической системы, так как расстояние между материальными точками остается неизменным. Однако в биологической механике абсолютно твердых неизменных материальных точек не существует. Биологиче-

ские системы, расстояния между точками которых могут меняться, называются *изменяемыми*. К ним относятся в частности все биологические системы, человек, антропометрические данные и т. п.

Таким образом, *биомеханическая система* — это упрощенная копия, модель тела человека, на которой можно изучать закономерности движений.

Если рассматривать какую-либо биологическую систему, то силы, действующие на точки биосистемы со стороны рабочих точек или тел, не входящих в биосистему, называются *внешними*, а силы, действующие на точки биосистемы со стороны точек или тел этой же системы, называются *внутренними*.

Внешние силы принято обозначать с индексом *e*: F_e , R_e , а внутренние силы — с индексом *i*: F_i (от латинских слов «exterior» — внешний и «interior» — внутренний).

Внешние силы вызваны действием внешних для биосистемы тел (опора, снаряды, другие люди, среда и т. п.). Только при их наличии возможно изменение траектории и скорости центра масс (далее — ЦМ); без них движение ЦМ не изменяется.

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

Так как внутренние силы взаимодействия между отдельными точками биологической системы попарно равны и направлены противоположно вдоль прямых, соединяющих эти точки, то главный вектор всех внутренних сил биологической системы равен нулю, причем если рассматриваемая биосистема неизменяемая, т. е. представляет собой абсолютно твердое тело, то внутренние силы *уравновешиваются* (статическое положение). Если же рассматривается изменяемая биосистема, то внутренние силы взаимно *не уравновешиваются*, так как, приложенные к разным телам, они могут вызвать их взаимное перемещение (динамическое).

Движение биосистемы зависит не только от действующих сил, оно зависит также, во-первых, *от суммарной массы системы*

$$m = \Sigma \Delta m_k,$$

где m — масса биосистемы; Δm_k — массы ее отдельных звеньев, и, вторых, *от положения центра масс биосистемы*.

Все силы, приложенные к его двигательному аппарату, составляют систему сил внешних и внутренних. Система внешних сил проявляется чаще как силы сопротивления. Для преодоления сопротивления затрачивается энергия движения и напряжения мышц человека. Различают рабочие и вредные сопротивления. Преодоление рабочих сопротивлений нередко составляет главную задачу движений человека (например, в преодолении веса штанги и заключается цель движений со штангой). Вредные сопротивления поглощают положительную работу; они, в принципе, неустранимы (например, силы трения лыж по снегу).

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

Человек преодолевает силы сопротивления мышечными силами и соответствующими внешними силами и совершает как бы две части работы: а) работу, направленную на преодоление всех сопротивлений (рабочих и вредных); б) работу, направленную на сообщение ускорений своему телу и перемещаемым внешним объектам.

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

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

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

Движение человека представляет собой результат совместного действия внешних и внутренних сил. Внешние силы, выражающие воздействие внешней силы, непосредственно управляемые человеком, обеспечивают правильное выполнение заданных движений.

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

1.3. Механическое движение в живых системах

Движением в механике называют изменение положения данного тела по отношению к каким-либо другим телам.

Любой живой организм представляет собой сложную материальную систему, которая, сохраняя форму и размеры отдельных элементов органов и систем организма, должна выдерживать определенные, иногда очень значительные, нагрузки. В теоретической механике при определении реакций опор не возникло проблемы сохранения формы и размеров, рассматриваемых в задачах элементов системы, так как они считались абсолютно твердыми — неизменяемыми. На самом деле под действием внешних сил все твердые материальные тела деформируются, т. е. их форма и размеры изменяются.

Основные законы механики Ньютона описывают движение абстрактных абсолютных твердых тел, которые не деформируются. Таких тел в природе не существует. Но в так называемых твердых телах деформации бывают столь малы, что их нередко можно и не учитывать. В живых же системах существенно изменяется относительное расположение их частей.

Механическое движение в живых системах проявляется как: а) передвижение всей биосистемы относительно ее окружения (среды, опоры, физических тел) и б) деформация самой биосистемы – передвижение одних ее частей относительно других.

Эти изменения и есть движения человека. Сами части живых систем (например, позвоночный столб, грудная клетка) также подчас существенно деформируются. Поэтому, изучая движение живой системы, имеют в виду, что работа сил тратится и на передвижение тела в целом, и на деформации. При этом всегда имеются потери энергии, ее рассеяние. Чисто механического движения вообще в природе не существует. Оно всегда сопровождается превращениями механической энергии в другие виды (например, в тепловую) и ее потерями.

Механическое движение человека, изучаемое в биомеханике спорта, происходит под воздействием внешних сил (тяжести, трения и многих других) и сил тяги мышц.

Из теоретической механики известно, что равновесная система внешних сил состоит из активных сил и реакций связей. Такую систему сил принято называть нагрузкой. Нагрузки классифицируют по двум признакам – способу их приложения к звеньям системы и характеру действия на них.

По способу их приложения к телу нагрузки делятся на поверхностные и объемные. *Поверхностные силы* приложены к участкам поверхности и характеризуют непосредственное контактное взаимодействие рассматриваемого элемента системы с окружающими телами. В свою очередь поверхностные силы делятся на распределенные и сосредоточенные. В буквальном смысле сосредоточенных сил нет, это схематизация. Считая силу сосредоточенной, условно пренебрегают размерами площади взаимодействия соприкасающихся тел. Силы, распределенные по объему тела, такие как силы тяжести и силы инерции, относятся к *объемным силам*.

По характеру действия на тело нагрузки делятся на статические, повторно-переменные и динамические (ударные).

К статическим нагрузкам относятся такие, которые медленно возрастают от нуля и, достигнув некоторого конечного значения, далее остаются неизменными. Примером статической объемной

нагрузки может служить система центробежных сил инерции, действующая на биосистему в период разгона и при дальнейшем равномерном вращении.

К повторно-переменным (циклическим) относятся нагрузки, многократно изменяющиеся во времени по какому-либо периодическому закону. К таким нагрузкам, в частности, относятся силы, действующие на голеностопный сустав верхних конечностей.

К динамическим (ударным) относятся нагрузки, прикладываемые внезапно или даже с некоторой скоростью в момент контакта. Примером такой нагрузки может служить сила, приложенная к телу в момент падения на него другого тела (партнера, штанги и т. д.).

1.4. Модели физико-механических свойств тел

Бернулли, Эйлер и Коши сформулировали основные принципы и законы, являющиеся общими для всех сред независимо от их внутренней «конституции», т. е. от их физико-механических свойств.

Фундаментальные принципы или законы дают уравнения, число которых меньше числа неизвестных. Эти уравнения обычно разделяются на две группы – уравнения равновесия или движения и геометрические уравнения (перемещений и деформаций). Нужно ввести специальные функциональные уравнения, так называемые уравнения состояния, которые описывают строение и физические особенности (конституцию) конкретной среды. Эти уравнения дают зависимость между двумя группами уравнений, т. е. зависимость напряжений от деформаций или от скорости деформаций.

В случаях, когда во время воздействия на тело взаимное расположение частиц, из которых оно состоит, меняется, тело является деформируемым, т. е. меняет свою форму и объем.

Деформируемые тела обладают бесконечным множеством степеней свободы, поскольку все время нужно определять положения всех их частиц.

На основании физико-механических свойств созданы две основные модели: модель абсолютно твердого тела и модель твердого деформированного тела. Свойства реальных деформируемых тел самые разнообразные. Это вызывает необходимость идеализировать

и упростить их, создавая модели, которые описывали бы основные, определяющие свойства. Такими являются модели упругого тела, вязкой жидкости, пластического тела и т. д.

Упругое тело. Механические свойства линейно-упругих твердых тел характеризуются прямо пропорциональной зависимостью между напряжениями и деформациями. Эта зависимость выражается законом Гука при одномерной задаче $\sigma_b = E\varepsilon$, и поскольку она линейно-однородна, то описывает свойство упругих тел восстанавливать свою первоначальную форму после устранения силы, вызвавшей деформацию. Модель линейно-упругого тела иллюстрируется при помощи упругой пружины.

Если упругие свойства материала одинаковы во всех направлениях, то материал называется изотропным, а если они различны, то анизотропным. Обычно такими являются биологические материалы.

Вязкая жидкость. Вязкая жидкость характеризуется прямой пропорциональностью между напряжениями и скоростью деформации (рис. 1, а), которая определяется законом Ньютона при одновременной задаче $\sigma_b = \eta\dot{\varepsilon}$, где $\varepsilon = \varepsilon(x, t)$ — деформация, а точкой обозначено дифференцирование по времени. Напряжение зависит не от самой деформации, а от ее скорости. Модель ньютоновской жидкости представляется поршнем с отверстиями (рис. 1, б), который движется в цилиндре с жидкостью, обладающей постоянной вязкостью (внутримолекулярным трением). При движении поршня жидкость протекает через отверстия и создает сопротивление, которое растет пропорционально скорости движения.

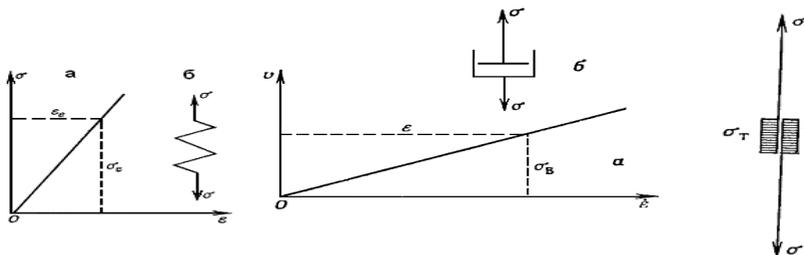


Рис. 1. Закон Ньютона для упругого тела

Жестко-пластическое тело. До напряжения σ , тело не деформируется, а при достижении этого напряжения оно начинает течь, т. е. деформации увеличиваются при постоянном напряжении.

Выше были рассмотрены элементарные модели свойств твердых тел. Свойства же реальных тел не совпадают с этими идеализированными моделями. В большинстве случаев механические свойства зависят одновременно от деформаций, их скоростей и направлений, а также от высших производных по времени.

Много реальных тел сочетают одновременно свойства упругого тела и вязкой жидкости и называются *вязкоупругими*. В этих случаях механические свойства представляются при помощи реологических моделей.

1.5. Механическое воздействие на весь организм

В человеческом теле вибрации порождаются внешними или внутренними источниками. Вследствие наличия мягких тканей, костей, суставов, внутренних органов, а также вследствие особенности его конфигурации вообще человеческое тело представляет собой сложную вибрационную систему. Вибрации от внешних источников могут передаваться человеческому телу, когда оно находится в покое, движении или при выполнении физических упражнений, в процессе работы с помощью рук. Большой интерес представляет вопрос о том, как эти вибрации проходят через тело и какое влияние они оказывают на отдельные системы, органы и ткани.

С точки зрения биомеханики человек представляет собой деформируемое тело, на которое действуют механические силы или другие влияния. Однако имеется особенность – при действии физических факторов за счет использования энергетических ресурсов и включения соответствующих мышц появляются физиологические реакции, чтобы восстановить первоначальное состояние. Окончательные деформации становятся результатом действия физических факторов и физиологических реакций. Включение в действие физиологических реакций производится нервной системой. В зависимости от интенсивности нервного напряжения может наступить состояние нервного утомления.

Отметим, что в организме человека имеется много образований, которые служат амортизаторами для гашения вибраций и ударов.

Механическую реакцию человеческого организма, рассматриваемого как единое целое, на воздействия внешних сил можно охарактеризовать механическим импедансом. Он выражается отношением приложенной вибрационной силы к результирующей скорости, которая измеряется на поверхности тела в точке приложения силы.

Приложенные к человеческому телу механические силы порождают движение, механические напряжения, перемещения и деформации. Они вызывают появление различных эффектов: движение может влиять прямо на физическую активность; может появиться механическое повреждение или разрушение; могут возникнуть вторичные эффекты (включая и субъективные явления), действующие через биологические рецепторы или биологические механизмы передачи, которые возбуждают изменения в организме.

Как показывают научные данные, механическую систему человеческого тела в общем случае надо моделировать нелинейной моделью, обладающей бесконечным числом степеней свободы и совершающей нестационарные движения. Динамические свойства этой системы зависят не только от строения человеческого тела, но и от его позы, степени утомления, общего психофизиологического состояния и других факторов. При моделировании человеческого тела невозможно учесть все эти факторы, поэтому следует ограничиться моделированием степеней свободы, резонансных состояний и нелинейных свойств.

Механические напряжения и движения могут стимулировать различные рецепторы кожи или других мест, а также непосредственно возбуждать нервную систему. Стимуляторы повышают нервную и гормональную активности, которые со своей стороны имеют резко меняющееся воздействие на множество метаболических процессов, связанных с ассимиляцией пищи, мышечной активностью, репродуктивной активностью и т. п. Все это можно использовать и полезным образом.

В последних публикациях указывается, что основной причиной, вызывающей некоторые болезненные явления при движении, яв-

ляется действие на человека механических сил, которые сообщают ему небольшие ускорения, направленные в противоположные стороны. Вследствие этого отдельные части тела перемещаются в пространстве много раз в различных направлениях.

Вибрации с различными частотами вызывают изменение деятельности сердечно-сосудистой системы. Некоторые исследователи устанавливают, что при низкочастотных вибрациях всего тела наблюдается повышение артериального давления, учащение пульса и изменение венозного давления, однако другие авторы отмечают обратное – уменьшение этих факторов. Высокочастотные вибрации вызывают у человека повышение артериального давления и увеличение пульса.

Многие авторы установили влияние вибраций на вестибулярный и зрительный анализаторы, а также непосредственно на функции дыхательной и других систем.

Контрольные вопросы

1. Что изучает предмет биомеханики двигательной деятельности?
2. Каковы основные разделы биомеханики двигательной деятельности?
3. В чем различия между такими понятиями, как движение, двигательное действие и двигательная деятельность?
4. Перечислите основные этапы биомеханического анализа.
5. Что такое оптимизация двигательной деятельности?
6. Какие критерии оптимальности двигательной деятельности вам известны?

Задание для самоконтроля и закрепления знаний

Выполните анализ кинезициклограммы бега расчетно-аналитическим методом, а именно пространственных характеристик:

- а) анализ угловых характеристик;
- б) анализ колебаний общего центра масс (далее – ОЦМ).

Сделайте выводы по работе.

Инвентарь: миллиметровая бумага, карандаш, транспортир.

Глава 2. АНАТОМО-БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЧЕЛОВЕКА

2.1. Биомеханика опорно-двигательного аппарата

Биомеханика изучает в теле человека, в его опорно-двигательном аппарате, преимущественно те особенности строения и функций, которые имеют значение для совершенства движений. Отвлекаясь от деталей анатомического строения и физиологических механизмов двигательного аппарата, рассматривают упрощенную модель тела человека — биомеханическую систему. Она обладает основными свойствами, существенными для выполнения двигательной функции, но не включает множество частных деталей.

Биомеханическая система тела человека состоит из биомеханических цепей. Множество частей тела, соединенных подвижно, образует биокинематические цепи. К ним приложены силы (нагрузки), которые вызывают деформации звеньев тела и изменение их движений.

Получению четкого представления о многообразной функции опорно-двигательного аппарата помогает анализ совершаемых движений с точки зрения характера костного рычага, через посредство которого осуществляется тяга мышц и плоскостей, в которых производятся движения, а также структуры отдельных движений (аналитической или комплексной). Определенное значение для правильного построения движений имеет изучение характера деятельности мышц (динамический или статический) с учетом условий их прикрепления, а также биомеханических особенностей, которыми отличается функция верхних конечностей, позвоночника и нижних конечностей в целом [7; 10].

Различают два вида движений, совершаемых человеческим телом: взаимную подвижность отдельных частей тела и локомоторную подвижность при перемещении тела (например, при ходьбе, беге). Подвижность в суставах зависит от характера костных рычагов и связей, от формы сочленений. В организме человека встречаются рычаги первого рода с расположением точек приложения сил, действующих в одном направлении, по обе стороны от точки опоры;

например, череп имеет точку опоры — атлантозатылочное сочленение, расположенное между точкой приложения силы тяжести и силы мышц, прикрепляющихся к затылочной кости. При рычагах второго рода точки приложения действующей силы (тяги мышц) и силы противодействия расположены по одну сторону от точки опоры сустава и действуют в противоположном направлении. В этом случае в зависимости от точек приложения сил достигается выигрыш в силе или скорости. Например, стопа при поднимании на носки может рассматриваться как рычаг с точкой опоры в области головок плюсневых костей, точкой приложения силы тяжести (вес тела) впереди от голеностопного сустава и точкой приложения действующей силы (тяги мышц) в области пяточного бугра. При подобном расположении точек приложения силы достигается выигрыш в силе тяги трехглавой мышцы голени. Приложенные силы двуглавой мышцы в верхней части предплечья при сгибании в локтевом суставе дают выигрыш в скорости движения.

Особенностью костных рычагов является то, что они в зависимости от потребности момента могут становиться то рычагами силы, то рычагами скорости. Величина действующей силы меняется также в зависимости от угла приложения ее к данному рычагу — наибольшее напряжение сила развивает, когда образует прямой угол с плечом рычага. Поэтому мышцы, расположенные по длине конечностей, развивают максимальное напряжение в процессе движения при благоприятном направлении тяги к костному рычагу, что выгодно для совершения работы. Соединенные между собой костные рычаги образуют так называемую кинетическую цепь. Для обозначения направления движений при изменении положения частей тела принято использовать ряд плоскостей и осей. Различают фронтальную плоскость, которая делит тело на передний и задний отделы, сагиттальную плоскость, делящую туловище на левую и правую половины, и горизонтальную плоскость.

Линии, указывающие направление — вертикальная, передне-задняя и поперечная, — являются осями, вокруг которых происходит изменение положения тела и его частей в пространстве. Например, вращение туловища происходит вокруг вертикальной оси (в горизонтальной плоскости), сгибание его вперед — вокруг поперечной

оси (в сагиттальной плоскости), а боковые наклоны туловища – вокруг передне-задней оси (во фронтальной плоскости). При назначении и проведении лечебной гимнастики часто возникает необходимость анатомически точно определить форму и направление совершаемого движения. Известны следующие элементарные движения: сгибание – разгибание, отведение – приведение, вращение (ротация) и круговое движение. В каждом суставе имеется строго определенное число «степеней свобод» для совершения движений, зависящее от его анатомического строения (формы сустава) [1].

В одноосных – шарнирных – суставах (например, в межфаланговых суставах пальцев) возможно сгибание и разгибание, в двухосных – эллипсоидных, седловидных – суставах (например, лучезапястном) допустимы сгибание – разгибание, отведение – приведение и круговые движения, а в многоосном – шаровидном – суставе (например, плечевом) осуществляется, кроме того, и ротационное движение.

Следует обратить внимание на возможность выполнения, помимо элементарных движений в суставах, также сложных комплексных движений. Элементарные движения аналитического характера чаще используются в процессе проведения специальных упражнений лечебной гимнастики. Примером может служить движение в локтевом суставе при фиксированном плече. В повседневной жизни (при работе, в процессе локомоторной функции) чаще совершаются не изолированные движения в одном суставе, в одном направлении, а сложные комплексные движения одновременно в нескольких суставах с участием большого числа мышц. Например, при работе молотком в движении участвуют плечевой, локтевой, лучезапястный суставы и суставы пальцев, функционируют мышцы плечевого пояса, плеча, предплечья и кисти. Комплексное движение характерно и для жеста.

Деятельность мышц при выполнении различных произвольных движений также носит групповой характер – помимо мышцы, играющей основную роль в совершении данного движения, совместно с ней действуют мышцы-синергисты и мышцы, оказывающие известное противодействие движению, – антагонисты. При отсутствии антагонистов движения совершались бы не плавно, а рывком, что отрицательно сказалось бы на общей координации движений.

Размах движений, производимых посторонней силой (пассивных движений), обычно больше размаха активных, что подчеркивает необходимость проведения при определенных показаниях, кроме активных упражнений, пассивной гимнастики суставов.

В процессе совершения движений мышцы выполняют неодинаковую функцию, работая в различном режиме: часть из них выполняет статическую функцию, фиксируя (стабилизируя) сустав, а при участии других мышц совершается динамическая работа. Данное положение может быть иллюстрировано следующим примером. При работе на пишущей машинке мышцы предплечья и кисти несут динамическую функцию, в то время как для дельтовидной мышцы, удерживающей руку на весу, типичен позиционный характер работы. В момент стояния человека большинство мышц нижних конечностей работают как стабилизаторы суставов, при ходьбе происходит чередование функции мышц в зависимости от фазы движения.

Статическая работа мышцы в изометрическом режиме вызывает более быстрое утомление в связи с непрерывным потоком нервных импульсов и отсутствием в работе чередования напряжения и расслабления.

Особо нужно сказать о двусуставных мышцах. К числу двусуставных мышц верхних конечностей относятся двуглавая и трехглавая мышцы плеча и часть мышц, расположенных на предплечье; двусуставными мышцами нижних конечностей являются прямая головка четырехглавой мышцы бедра, сгибатели коленного сустава, трехглавая мышца голени. В связи с большим пробегом мышцы увеличивается величина развиваемого ею усилия, так как степень напряжения мышцы зависит от исходной длины. Двусуставные мышцы дают возможность сочетать движения в двух суставах одновременно (например, сгибание в тазобедренном суставе и разгибание в коленном), что имеет значение для выполнения таких сложных комплексных движений, как приседание, ходьба и т. д. Благодаря двусуставным мышцам обеспечивается плавная смена фаз сложных движений. В процессе проведения восстановительного лечения учет функции мышц, перекидывающихся через два сустава, может иметь значение при выборе исходных положений для выполнения некоторых упражнений. Так, например, разогнутое положение в тазобедрен-

ном суставе, обеспечивая известную степень растяжения прямой головки четырехглавой мышцы при резком снижении функции, способствует лучшему разгибанию в коленном суставе (обратная зависимость существует между положением в тазобедренном суставе и функцией сгибателей коленного сустава).

Переходим к краткому биомеханическому анализу функции верхних конечностей, позвоночника и нижних конечностей.

Функция верхней конечности обладает рядом биомеханических особенностей. Строение плечевого сустава позволяет совершать рукой сгибание, разгибание, отведение, приведение, вращение (rotatio) и круговое движение (circumductio). Отведение верхней конечности сопровождается напряжением группы мышц, фиксирующих положение плечевого пояса (лопаток, ключиц) по отношению к грудной клетке, — трапециевидной, ромбовидных и малой грудной. Наличие мощных связок между акромиальным и клювовидным отростками лопатки ограничивает отведение плеча (до угла 90°). В связи с этим движение руки вверх за пределы прямого угла происходит при участии лопатки — вращения ее вокруг передне-задней оси (рис. 2, *a* и *b*), создаваемого парой сил: тягой верхней части трапециевидной мышцы, прикрепляющейся к области наружного угла лопатки, и передней зубчатой мышцы, большая часть волокон которой направляется к нижнему углу лопатки. Вертикальное положение руки обеспечивается благодаря участию позвоночника — его боковому наклону. Таким образом, отведение руки происходит при участии плечевого, ключично-стернального и ключично-акромиального сочленений и осуществляется вначале дельтовидной мышцей, затем трапециевидной и передней зубчатой и на заключительном этапе движения — длинными мышцами спины. В локтевом суставе, шарнирном по форме, возможно только движение сгибания и разгибания (в объеме 140°). Кроме того, в проксимальном луче-локтевом суставе возможно вращение лучевой кости, выражающееся в пронации и супинации предплечья (в объеме 180°).

Следует отметить, что степень участия различных мышц в движении сгибания в локтевом суставе различна в зависимости от положения предплечья, а именно: при супинированном предплечье особенно выражена роль двуглавой мышцы, при среднем поло-

жении предплечья включается в функцию сгибания плечелучевая мышца, а при пронированном предплечье более выражено участие плечевой мышцы.

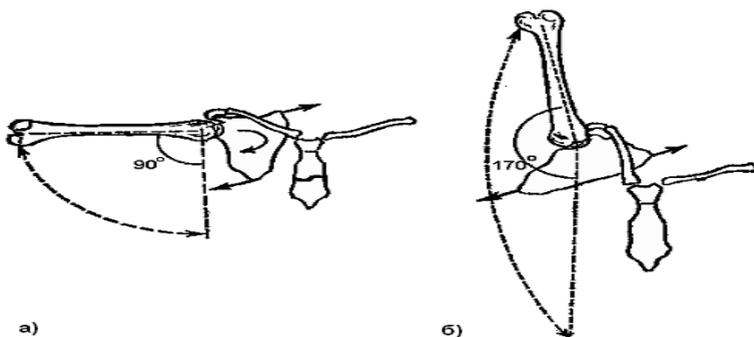


Рис. 2. Схема движения руки до прямого угла (а) и за его пределы (б)

При резком снижении силы мышцы плеча определенное влияние на силу флексии и экстензии в локтевом суставе оказывает положение руки в плечевом суставе в связи с двусуставным характером двуглавой и трехглавой мышц. При разогнутом положении в плечевом суставе отделяются точки прикрепления длинной головки двуглавой мышцы, что положительно сказывается на величине развиваемого ею усилия, в то время как согнутая в плечевом суставе рука создает более благоприятные условия для работы трехглавой мышцы — разгибания предплечья. Супинация и пронация предплечья (лучше выявляемые при согнутом локтевом суставе) определяются комбинированной работой следующих мышц: супинатора, двуглавой мышцы плеча, плечевой мышцы («длинного супинатора»), устанавливающей предплечье в среднее положение между пронацией и супинацией, круглого и квадратного пронаторов. Стойкое ограничение супинации и пронации предплечья частично компенсируется ротационными движениями в плечевом суставе. Лучезапястный сустав, по форме эллипсоидный, допускает (вместе с межзапястным суставом) такие движения, как разгибания (в объеме 125–120°), отведения — приведения кисти (в объеме 65–70°) и круговые движения.

Движения кистью осуществляются главным образом лучевыми и локтевыми сгибателями и разгибателями: при сгибании в лучезапястном суставе сокращаются лучевой и локтевой сгибатели кисти, при разгибании — лучевые разгибатели и локтевой разгибатель, при отведении включаются лучевой сгибатель и лучевые разгибатели, при приведении — локтевые сгибатели и разгибатели кисти.

Таким образом, различные движения в лучезапястном суставе определяются различными сочетаниями функции одних и тех же мышц предплечья. Кроме того, сгибание кисти может быть условно функцией длинной ладонной мышцы и сгибателей пальцев (при закрепленных пальцах), а разгибанию кисти помогает общий разгибатель пальцев.

Особенностью функции рабочего органа человека — руки — являются способность захватывать, удерживать, перемещать различные предметы, совершать определенную работу. В связи с этим особенно большой интерес представляет функция захвата пальцами. В норме пальцевой захват может быть различным по форме: крючковым, цилиндрическим (например, при удержании рукоятки инструмента в процессе работы), щипцовым (например, при письме, сборке мелких деталей). Последовательными фазами выполнения захвата предмета пальцами является стабилизация положения кисти, разгибание и разведение пальцев, а затем противопоставление I пальца и сгибание пальцев. При патологических условиях у больных могут наблюдаться различные другие способы захватывания предметов, частично компенсирующие двигательные нарушения (например, при выпадении функции противопоставления I пальца — путем прижатия предмета к боковой поверхности второго пальца силой мышцы, приводящей палец). В функции сгибания пальцев принимают участие различные группы мышц: поверхностный и глубокий сгибатели пальцев, межкостные, червеобразные мышцы и сгибатели I пальца. При проведении лечебной гимнастики и трудотерапии часто возникает необходимость дифференцировать функции этих мышц.

Сгибание в пястно-фаланговых суставах (возможное в объеме 90°) осуществляется межкостными и червеобразными мышцами, сгибание в проксимальных межфаланговых суставах (в объеме

120°) – поверхностным сгибателем пальцев, сгибание в дистальных межфаланговых суставах (в объеме 90°) – глубоким сгибателем пальцев. Обязательным компонентом комплексного движения в суставах пальцев, производимого при захвате, является, как указывалось, предварительное разгибание в пястно-фаланговых суставах силой напряжения общего разгибателя пальцев и в межфаланговых суставах при участии межкостных и червеобразных мышц. Особенно большое значение для работы пальцами имеет противопоставление большого пальца. На силу сгибания пальцев при захватывании различных предметов определенное влияние оказывает положение кисти. Проведенные динамометрические исследования у контингента здоровых людей и у больных с поражением лучевого нерва показали, что при опущенном (согнутом) положении кисти сила сгибания пальцев уменьшается более чем вдвое. Развитие достаточного усилия при сжатии пальцев и совершении динамической работы возможно лишь при условии стабилизации положения кисти группой мышц предплечья (лучевых и локтевых сгибателей и разгибателей кисти).

Помимо мышц, большое значение для функции пальцев имеют туннели в плотном ладонном апоневрозе, обеспечивающие беспрепятственное скольжение сухожилий, и связочный аппарат. Связки локализуются в местах наибольшего напряжения сухожилий (на протяжении диафиза основных и средних фаланг поперечно идут вагинальные связки, ближе к головкам тех же фаланг – крестообразные связки, в области суставов основных фаланг – кольцевидные связки). При ослаблении или повреждении связочного аппарата сухожилие провисает, и в связи с этим резко снижается величина развиваемого мышцей усилия, затрудняется возможность изолированного движения в одном суставе. Определенную функциональную роль играют «блоки» – утолщения суставной сумки в местах перегиба сухожилия (под головками пястных костей), определяющие передачу силы тяги мышц при различных положениях пальцев. Координированная функция пальцев и возможность дифференцировать различные предметы по размеру и форме при совершении работы рукой определяется суставно-мышечным чувством (стереогнозом) и восприятиями, поступающими от тонко организованного рецепторного аппарата кожи ладонной поверхности пальцев. Коррекции

движений, совершаемых пальцами в ходе выполнения различной работы, способствуют обратные (афферентные) импульсы, возникающие в результате соприкосновения пальцев с поверхностью различных по плотности, форме и размеру предметов.

Позвоночник несет функцию опоры, смягчает толчки, возникающие при ходьбе, беге, прыжках, участвует в движениях тела. Амортизацию сотрясения, возникающего при вертикальном положении тела, обеспечивают межпозвоночные хрящи (диски) и существующие в норме физиологические кривизны позвоночника: шейный и поясничный лордозы (изгиб кпереди) и грудной крестцово-копчиковой кифозы (изгибы кзади). Сочленения между отдельными позвонками позволяют производить следующие движения: сгибание-разгибание позвоночника, боковые наклоны, повороты, кружения туловищем. В норме наиболее подвижен поясничный отдел позвоночника.

Сгибание туловища вперед осуществляется с одновременным участием наружных и внутренних косых мышц, прямых мышц и пояснично-подвздошных. Боковые наклоны позвоночника определяются сокращением косых мышц и прямой той же стороны, а повороты — сокращением всех мышц туловища, волокна которых расположены косо, и в первую очередь мышц-ротаторов позвоночника и наружных косых мышц живота. Разгибание туловища осуществляется длинными мышцами спины. Следует отметить, что функциональные возможности длинных мышц спины могут быть лучше выявлены при разгибании позвоночника из несколько согнутого положения (в связи с отдалением точек прикрепления мышцы). Выраженность физиологических изгибов позвоночника зависит в первую очередь от положения плечевого пояса и тазового: сближение плечевых суставов, отдаление лопаток от грудной клетки и позвоночника способствует развитию сутулости; увеличение наклона таза ведет к увеличению глубины поясничного лордоза. Существенное влияние на физиологические кривизны позвоночника оказывает соотношение в силе тяги мышц живота и спины.

Выносливость позвоночника к статической нагрузке в значительной степени определяется состоянием его связочно-мышечного аппарата. Мышцы, прикрепляющиеся в области позвоночника, грудной клетки и перекидывающиеся на таз, служат как бы растяжками,

поддерживающими вертикальное положение позвоночника. Особенно выражено влияние на позвоночник наружных косых мышц живота в связи с широкой зоной прикрепления, определяющей момент силы костного рычага и направления тяги. Одностороннее напряжение наружной косой мышцы ведет к флексии позвоночника в ту же сторону и повороту в противоположном направлении.

Характерной функциональной особенностью нижних конечностей является участие в опоре и передвижении (стоянии, ходьбе, беге). В тазобедренном суставе, шаровидном по форме, осуществляется сгибание (в объеме 120–130°), разгибание (в объеме 15°), отведение (в объеме 30–40°), приведение (в объеме 30°), ротация внутрь (в объеме 40–50°), ротация наружу (в объеме 50°) и круговое движение.

Движения в тазобедренном суставе производятся при участии следующих мышц. Сгибание обусловлено функцией прямой мышцы бедра, портняжной, подвздошно-поясничной, натягивающей широкую фасцию бедра. Разгибание – функцией большой ягодичной мышцы, группой сгибателей коленного сустава (расположенной на задней поверхности бедра). Отведение – функцией средней и малой ягодичной мышц, мышцы, натягивающей широкую фасцию; приведение – функцией группы приводящих мышц бедра; ротация внутрь – функцией передних пучков средней и малой ягодичных мышц, а ротация наружу – функцией «трехглавого ротатора» – двух мышц-близнецов и внутренней запирательной, а также квадратной мышцы бедра. Помимо мышц, несущих основную функцию, в движениях в тазобедренном суставе принимают участие также и другие мышцы.

Сгибание в тазобедренном суставе может производиться при участии прямой мышцы бедра и пояснично-подвздошной мышцы. Зная, что начало движения обеспечивается главным образом функцией прямой головки четырехглавой мышцы, а движение за пределы прямого угла осуществляется преимущественно пояснично-подвздошной мышцей, можно рассчитать работу этих мышц. Участие в разгибании в тазобедренном суставе полусухожильной, полуперепончатой и двуглавой мышц может быть уменьшено путем сгибания ноги в коленном суставе. В коленном суставе возможно сгибание и разгибание (в объеме 130–135°), а при согнутом коленном суставе допустима, кроме того, пронация (в объеме 40–50°) и голени в объеме 30°.

Движение в коленном суставе в связи с отсутствием полной конгруэнтности между поверхностью большеберцовой кости и закругленной эллипсоидной сочленовной поверхностью мыщелков бедра сложное по форме и осуществляется по параболе. Помимо сгибания в коленном суставе, происходит известная степень скольжения большеберцовой кости по суставной поверхности бедренной кости. Сгибание в коленном суставе совершается в основном двусуставными мышцами – полусухожильной, полуперепончатой, двуглавой и икроножной (при фиксированной на поверхности почвы стопе), разгибание – четырехглавой мышцей бедра. Соотношение в силе между группой разгибателей и сгибателей коленного сустава – 3:1.

К мышцам, супинирующим голень и ротирующим ее наружу, относят двуглавую мышцу; к мышцам, пронирующим голень (ротирующим внутрь), – портняжную, полусухожильную, полуперепончатую и подколенную. Боковое смещение большеберцовой кости по отношению к бедренной, а также смещение ее в переднем или заднем направлении в норме отсутствуют и служат признаком неполноценности связочного аппарата. Движения, производимые стопой: сгибание (подошвенное и тыльное) и разгибание, пронация и супинация (поворот подошвенной поверхностью кнаружи и кнутри), приведение и отведение, – складываются из движений, осуществляемых в двух суставах – голеностопном и таранно-пяточно-ладьевидном. В первом более выражено движение в сагиттальной плоскости и при опущенном носке. Возможно, кроме того, приведение и отведение стопы (когда в вилке располагается более узкая задняя часть блока таранной кости). Объем сгибания – 30–45°, разгибания – 25–30°, супинации с приведением – 30°, пронации с отведением – 15°. Последние два движения более тесно связаны между собой.

Разгибателями стопы являются передняя большеберцовая мышца, длинный разгибатель I пальца и общий длинный разгибатель пальцев; сгибателями – трехглавая мышца голени, задняя большеберцовая, длинный сгибатель I пальца, длинный сгибатель пальцев, малоберцовые мышцы.

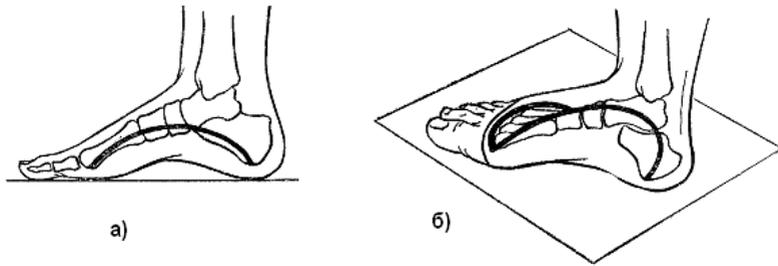


Рис. 3. Схематическое изображение сводчатого (*а*) и спиралеобразного (*б*) строения стопы

Из группы мышц, осуществляющих тыльное сгибание, наибольшей силой обладает передняя большеберцовая мышца (11,13 % силы всех мышц голени); из группы мышц, определяющих подошвенное сгибание, — трехглавая мышца голени (50,28 % силы мышц голени); из группы мышц, определяющих подошвенное сгибание, — трехглавая мышца голени (50,28 % силы мышц голени). Силовое соотношение между группой подошвенных и тыльных сгибателей стопы — 7:1.

Супинация стопы осуществляется трехглавой мышцей голени, задней большеберцовой, общим длинным сгибателем пальцев; пронация — малоберцовыми мышцами, общим длинным разгибателем пальцев. Группа мышц, супинирующих стопу, обладает большой силой.

По строению стопу сравнивают со сводом (рис. 3, *а*). Различают продольный свод, образованный рядом костей, расположенных в направлении от пяточной кости к концам пальцев, и поперечный свод в области переднего отдела стопы. Сводчатое строение стопы определяет ее прочность. Стопа, кроме того, по форме напоминает отрезок изогнутой пружинящей спирали (рис. 3, *б*). Спиралеобразная форма обеспечивает динамическую функцию стопы, ее рессорные свойства. Сухожилие задней большеберцовой мышцы вместе со связочным аппаратом играет большую роль в укреплении сводов стопы. Мощная длинная продольная связка носит название продольной затяжки, а сухожилие длинной малоберцовой мышцы, пересекающее стопу в поперечном направлении, — поперечной затяжки свода. Напряжение связочного аппарата подошвенной поверхности стопы регулируется мышечной тягой.

Большое значение в сохранении нормальной высоты сводов стопы и поддержании ее спиралеобразной формы имеет деятельность мышц, супинирующих стопу (в первую очередь задней большеберцовой мышцы, сухожилие которой, прикрепляясь к нескольким костям стопы, сближает их), и длинной малоберцовой мышцы, функция которой лучше осуществляется при известной степени напряжения передней большеберцовой мышцы. Благодаря напряжению названных мышц супинируется пяточная кость и пронируется передний отдел стопы, что обеспечивает ее торсию (скручивание) и углубление продольного и поперечного сводов. Напряжение сухожилий сгибателей пальцев (длинного сгибателя большого пальца, длинного и короткого сгибателей пальцев), служащих как бы растяжкой между пяточной костью и пальцами и сближающих передний и задний отрезки дуги продольного свода, мешает развитию плоскостопия.

Перечисленные биомеханические особенности определяют выносливость стопы к нагрузке весом тела, дают возможность лучше приспособлять стопу к неровностям почвы и смягчать толчки. В процессе нагрузки на нижние конечности высота продольного свода меняется (по данным М.О. Фридланда, она меньше к концу дня). Основной динамической функцией нижних конечностей является передвижение туловища в пространстве. Процесс ходьбы выражается в ритмически повторяющихся фазных движениях нижних конечностей — опорная и переносная фазы. Последовательными движениями нижних конечностей при ходьбе является толчок носком ноги, вынос согнутой ноги вперед, опора на пятку и перекат стопы (аналогичные движения повторяются симметричной нижней конечностью). При ходьбе в процессе попеременной опоры на левую ногу одна нога является опорной, другая — переносной (свободной).

Ходьба представляет собой как бы ряд последовательных стремлений тела к падению вперед: вместе с наклоном тела нога выносится в парасагиттальной плоскости вперед и своевременно его подпирает. Движения нижними конечностями при ходьбе сопровождаются синхронными движениями рук и балансированием туловища: тело смещается вверх и вниз в пределах 3–4 см и в стороны на 1–2 см [39].

Совокупность этих данных выражает индивидуальность походки. Особенность походки определяется как анатомическими предпосылками (например, изменением формы шеечно-диафизарного угла бедренной кости), так и привычкой ходить, различно устанавливая ноги. Так, например, при широкой расстановке стоп в связи с необходимостью смещения проекции центра тяжести тела по направлению к опорной ноге при каждом шаге наблюдается боковой наклон туловища. П.Ф. Лесгафт различает два типа походки: «тяжелую» и «легкую» в зависимости от преимущественной нагрузки на задний или передний отдел стопы при ходьбе. Изменения со стороны походки могут быть связаны с различными патологическими состояниями (укорочением ноги, парезом определенных мышечных групп) и носить характер приспособлений, компенсирующих функциональные нарушения (например, рекурвация в коленных суставах при глубоком парезе четырехглавых мышц) [31].

Сведения, касающиеся анатомо-биомеханических особенностей двигательного аппарата, использованные с учетом наступающих в нем функциональных изменений в результате различных травм и заболеваний, должны способствовать наиболее рациональному применению физических упражнений с лечебно-восстановительной целью.

2.2. Механические виды нагружения и их воздействие на тело человека

Растягивая руками резиновый жгут или сгибаемая толстую стальную проволоку, мы ощущаем сопротивление этих тел; иногда силы наших рук оказывается недостаточно, чтобы еще более растянуть жгут или изогнуть проволоку. Способность тела сопротивляться изменению первоначальной формы определяется силами сцепления между всеми смежными частицами тела, которые в отличие от внешних сил, приложенных к телу, называются *внутренними силами*. Внутренние силы (иногда их называют силами упругости), как показывают опыты, возрастают вместе с увеличением *внутренних* нагрузок, но до известного предела, после чего сцепление между частицами тела прекращается и тело разрушается.

Чтобы правильно рассчитать состояния системы (совокупность значений ее существенных переменных) на прочность или на жесткость, необходимо уметь определять внутренние силы по нагрузке.

В зависимости от характера, величины и места приложения нагрузки соотношение напряжения растяжения и сжатия в костях изменяется. Исследование топографии напряжений растяжения и сжатия, возникающих в костях при том или ином виде нагрузки, в последнее время используется для изучения механизма возникновения переломов костей и установления их механических свойств.

Исследуя кости (опорный аппарат) с точки зрения строительной механики, Я.М. Коц установил в строении костей (звеньев) ряд особенностей, имеющих значение не только для показателей прочности, но и влияющих на передачу напряжений со свода на основание. Это должно отражаться и на закономерностях возникновения переломов. Исходя из принципов строительной механики, автор считает также, что соединение отдельных костей (биокинематической цепи) между собой способствует не только наибольшей прочности (соединение звеньев), но и обуславливает некоторую амортизацию травмирующего воздействия за счет соединения под острым углом. «Рациональная» форма костей проявляется не только определенной конфигурацией свода костей, но и его основания.

Выводы Я.М. Коца представляют известный интерес. Однако нельзя объяснить прочностные свойства костей лишь на основании данных строительной механики [26; 27].

Фундаментальные исследования Г.А. Николаева доказали наличие в костях свода собственных напряжений, которые существуют в них и при отсутствии внешних сил (нагрузок). Собственное напряжение растяжения на наружной поверхности свода уравнивается собственным напряжением сжатия на внутренней поверхности и как бы обжимает плоские кости опорного аппарата, а в два раза большее собственное напряжение сжатия на внутренней поверхности свода костей в известной степени предохраняет его от ударных нагрузок, значительно повышая эластичность костей. С увеличением возраста уровень собственных напряжений как в наружных, так и во внутренних слоях костей снижается, что сопровождается и снижением их прочностных свойств [34].

Как известно, кость прочнее на сжатие, чем на растяжение, и при нагрузках, выходящих за пределы упругой деформации костей, разрушение будет возникать в первую очередь в участках концентрации отрицательных напряжений. Нарушение целостности плоских костей, в частности костей ключицы, происходит в результате сгибания костей пластинки либо вследствие разрыва ее в продольном направлении. Механизм перелома плоской кости вследствие сгибания сводится к компрессии одной пластинки и растяжению другой. Если под действием травмирующей силы кость на определенном участке значительно прогибается, то происходит разрушение на той стороне, которая подвергалась растяжению. Линия перелома в этом случае стремится к распространению в поперечном направлении по отношению к действующей силе. При этом костная пластинка, в сторону которой происходит сгибание, испытывает усилия на сжатие, которое при большей величине, чем сопротивляемость кости, обуславливает местную деформацию кости в области перелома в виде выкрашивания краев перелома.

При любой механической травме повреждение либо наносится движущимся предметом человеку, находящемуся в покое или при относительно небольшом движении, либо движущееся тело человека ударяется о неподвижный предмет. Следовательно, в любом случае травматизма проявляется действие какой-то силы, связанной с движением повреждающего предмета или движением тела биосистемы.

В механике взаимосвязь силы и движения в простейшем виде сформулирована в трех законах движения Ньютона:

1. Всякое тело находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, пока какие-нибудь силы не выведут его из этого состояния.

2. Действующая сила сообщает телу ускорение, которое прямо пропорционально силе и обратно пропорционально массе тела. Отсюда

$$F = ma,$$

где F – сила; m – масса тела; a – ускорение.

3. Если тело действует с некоторой силой на другое тело, то последнее действует с такой же, но противоположно направленной силой на первое тело.

Отсюда действующая сила характеризуется не только своей величиной, но и направлением. Следовательно, сила является величиной векторной, что учитывается при сложении нескольких действующих сил и установлении их суммарной силы, называемой равнодействующей. Если к телу приложены одновременно две равные по величине, но противоположные по направлению силы, действующие по одной линии, их равнодействующая будет равна нулю и тело будет находиться в покое. В случаях действия на тело двух равных параллельных, но противоположно направленных сил может произойти вращение этого тела, и такие силы называют парой сил. Силы измеряются в килограмм-силах по системе МКГСС или в ньютонах по системе СИ.

Согласно закону сохранения энергии, произведенная работа равна затраченной энергии. Энергией называется степень способности производить работу. Так, груз, поднятый над землей, обладает потенциальной энергией, поскольку при падении на землю он может совершать работу. Потенциальная энергия этого груза может быть рассчитана по формуле

$$E_p = mgh,$$

где m — масса поднятого тела; g — сила свободного падения; h — высота подъема.

Переход потенциальной энергии в кинетическую энергию твердого тела определяется формулой

$$E = mV^2/2,$$

где m — масса тела; V — скорость движения.

Обширность и характер повреждения зависят не только от величины и направления действующей силы, но и механических свойств повреждаемого тела. К ним относятся прочность, жесткость, упругость, устойчивость и др. Эти свойства изучает наука о сопротивлении материалов, на основе которой конструируются детали машин, возводятся здания, строятся мосты и т. д. Перечисленные свойства биологических тканей дают возможность оценить сопротивляемость отдельных органов и систем животного и человека к различным механическим воздействиям.

Прочностью тела называется его способность сопротивляться разрушению под действием приложенных к телу внешних сил (на-

грузок). В науке о сопротивлении материалов под телом понимается физический объект, построенный из одного материала. В зависимости от условий и методов исследования телом может быть целый объект, например, опорная система, отдельная ее часть (определенная кость черепа) или образец (фрагмент этой кости).

Все материалы живой и неживой природы под действием внешней силы изменяют либо свою форму, либо размеры, или одновременно и форму, и размеры. Эти изменения называются *деформацией*. В зависимости от способа приложения нагрузки и вида деформаций, которые испытывает тело, различают прочность на сжатие, на растяжение, на изгиб и т. д. [2]. Прочность измеряется наименьшей силой, вызывающей разрушение образца испытываемого материала, деленной на площадь его начального поперечного сечения. Эту площадь, перпендикулярную направлению сил, определяют в том месте, где произошло разрушение.

С деформацией связаны не только прочность материала, но и другие механические свойства: его жесткость, упругость и пластичность.

В теоретической механике понятия жесткости и упругости нередко отождествляются, хотя эти понятия определяют различные свойства материала. Например, резина легко поддается деформации и так же легко принимает свою первоначальную форму, являясь нежестким, упругим материалом. Напротив, стекло обладает значительной сопротивляемостью к деформации, а если последняя произошла, то оно разрушается, являясь примером жесткого, неупругого материала. С другой стороны, жесткость и упругость материала могут зависеть и от условий, в которых он находится. Например, при низких температурах резина становится жесткой, а стекло при высоких температурах теряет жесткость. Следовательно, *жесткость* — это способность материала сопротивляться деформации при действии внешней силы. *Упругость* — способность тела принимать после снятия нагрузки первоначальную форму или размеры. *Прочность* — способность тела давать остаточные деформации. Остаточными деформациями называются такие изменения формы или размеров, которые сохраняются и после снятия нагрузки.

Механические свойства, в том числе прочность и жесткость конструкции, зависят и от способов приложения внешней нагруз-

ки, которые могут быть сосредоточенными и распределенными. В природе обычно не существует сосредоточенной нагрузки, а все усилия, прилагаемые к телам, распределены на какой-то площади. В связи с большими сложностями расчетов распределенных нагрузок в науке о сопротивлении материалов принято распределенные нагрузки заменять равнодействующими силами, что значительно упрощает расчеты.

Как сосредоточенные, так и распределенные нагрузки по способам их причинения могут быть статическими и динамическими. Статическими называются нагрузки, изменяющие свою величину или место приложения с очень небольшой скоростью, в связи с чем возникающими при этом ускорениями можно пренебречь. Напротив, динамические нагрузки происходят с большой скоростью. В первую очередь к ним относится удар.

Если внешняя сила прикладывается вдоль продольной оси тела, то развивается деформация растяжения или сжатия. При растяжении увеличивается длина и уменьшается поперечное сечение, при сжатии, наоборот, увеличиваются поперечные размеры и уменьшается длина, что приводит к линейной деформации тела. При этом силу, приходящуюся на единицу площади поперечного сечения тела, называют *напряжением*.

Между линейной деформацией и нормальными напряжениями существует зависимость, выражающаяся законом Гука, по которому относительные линейные деформации прямо пропорциональны нормальным напряжениям:

$$\varepsilon = \sigma/E,$$

где ε — относительная линейная деформация, определяемая как отношение абсолютного удлинения образца к его первоначальной длине; σ — нормальное напряжение; E — модуль продольной упругости (модуль упругости первого рода, модуль Юнга).

Модуль Юнга характеризует жесткость материала и является отношением напряжения к относительному удлинению [30].

Если материал подвергается не растяжению, а сжатию вдоль одной оси, то напряжение и относительное удлинение становятся отрицательными, хотя их отношение по-прежнему будет выражаться модулем Юнга. Между относительной продольной (ε) и относитель-

ной поперечной (ε') деформациями существует зависимость, которая выражается формулой

$$\varepsilon' = \mu\varepsilon,$$

где μ – коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона). Последний характеризует способность материала к поперечным деформациям. При расчетах по этой формуле удлинение образца считается положительным, а ускорение – отрицательным. Коэффициент поперечной деформации для всех материалов колеблется от 0 до 0,5 [41].

Прямо пропорциональная зависимость между нормальным напряжением и относительной линейной деформацией может нарушаться, если в объекте исследования развивается концентрация напряжений. Концентрацию напряжений создают отверстия и изменения толщины, а также незначительные нарушения целостности объекта (трещины, мелкие дефекты и т. д.). Так, небольшое поперечное отверстие в хрупком стержне уменьшает его прочность на разрыв в три раза, а ударная прочность, которая пропорциональна квадрату прочности на разрыв, уменьшается при этом в девять раз [5]. Напротив, наличие амортизирующей прокладки уменьшает разрушающее действие напряжения. Свидетельством этому могут служить повседневные примеры из практики. Если стакан или другой стеклянный предмет падает на ковер, он нередко остается цел за счет того, что часть его кинетической энергии расходуется на деформацию ковра. Этот же стакан, упавший с такой же высоты на кафельный пол, обычно разбивается, поскольку кинетическая энергия, развиваемая при падении, будет достаточна для его разбития.

При увеличении нагрузки до какой-то определенной величины, особенно при наличии концентрации растягивающих напряжений, происходит разрушение образца. То наибольшее условное напряжение, которое может выдерживать материал, называется *пределом прочности*. Предел прочности вычисляется по формуле

$$\sigma = P/F,$$

где σ – предел прочности ($\text{кгс}/\text{см}^2$); P – нагрузка, при которой произошло разрушение образца (кгс); F – площадь поперечного сечения (см^2).

На ударную прочность материала оказывает влияние не только величина ударного напряжения, но и *скорость деформации*. Так, при медленном изменении формы вязкоупругие материалы могут выдержать большую деформацию, для их разрушения потребуется больше энергии, чем при резком ударе.

Практическое определение предела прочности материала как отношения нагрузки к площади сечения его образца позволяет стандартизировать значения прочности отдельных материалов вне зависимости от формы и размеров испытываемых объектов. Для исследования механических свойств материалов и установления пределов их прочности образцы этих материалов подвергаются испытаниям. Испытания проводятся при различных видах нагрузок и деформаций на специальных испытательных машинах. При этом испытываемый образец фиксируется в зажимах машины так, чтобы исключить его проскальзывание или отлом концов в местах зажима. Затем образец подвергается дозированной нагрузке. В процессе испытания с помощью специальных устройств синхронно записывают диаграмму зависимости между приложенной силой и удлинением или укорочением образца. Поскольку диаграмма растяжения зависит не только от свойств материала, но и от величины и формы образцов, последние при испытании материалов на прочность по форме и размерам стандартизируются. На основе испытания стандартных образцов строят диаграммы растяжения, называемые также диаграммами условных напряжений, в которых по оси ординат откладываются величины нормального напряжения в поперечном сечении (σ), а на оси абсцисс — относительное удлинение образца $\Delta l/l$ [8]. Уточнение степени деформации проводится путем наклеивания на поверхность образца в двух взаимно перпендикулярных направлениях проволочных тензодатчиков, соединенных по мостовой схеме. Регистрация деформаций с тензодатчиков через усилитель производится на осциллографе.

Использование этих методов позволяет на одном образце определить предел прочности, модуль продольной упругости, коэффициент поперечной деформации и ряд других показателей, характеризующих механические свойства материала.

На механические свойства образцов материалов оказывает значительное влияние и скорость деформирования. Например, при ударном растяжении предел прочности повышается на 10–30 % по сравнению со статическим, а пластичность при увеличении скорости деформирования уменьшается [41]. Даже сравнительно небольшие скорости деформирования повышают степень хрупкого разрушения материала. Поэтому для изучения ударного растяжения и построения его диаграмм невозможно использование испытываемых машин, предназначенных для исследования свойств материалов при статических нагрузках.

Характеристикой механических свойств материала при ударной нагрузке является удельная ударная вязкость, которая определяется по формуле

$$\alpha = A/F,$$

где α – удельная ударная вязкость ($\text{кгс} \cdot \text{м}/\text{см}^2$); A – абсолютная работа разрушения ($\text{кгс} \cdot \text{м}$); F – площадь поперечного сечения в месте излома (см^2). Отсюда чем больше удельная ударная вязкость, тем лучше материал сопротивляется удару, а следовательно, тем более он вязок. Конечно, полученные в процессе исследования на ударную нагрузку только одного свойства материала не дают полного представления о других его свойствах, и поэтому ударная проба менее информативна, чем статическое испытание на сжатие и растяжение.

Испытание образцов отдельных материалов к статическим и динамическим нагрузкам позволяет в технике рассчитать механические свойства элементов отдельных конструкций и сооружения в целом. В связи со сложностью подобных расчетов в науке о сопротивлении материалов принимается ряд общепринятых допущений относительно свойств материалов, нагрузок и характера взаимодействия тела и нагрузки. Эти допущения полностью распространяются и на биологические ткани, в частности кости. Погрешности, вносимые этими допущениями, весьма незначительны и в практическом отношении ими можно пренебречь [41]. К их числу относятся следующие:

1. Кость имеет сплошное (непрерывное) строение. Это не противоречит дискретной, атомистической структуре вещества. С практической точки зрения такую концепцию можно объяснить тем, что межатомные расстояния или расстояния между кристаллами

твердых тел значительно меньше, чем размеры реальных объектов. Например, костная ткань состоит из трех компонентов: органические вещества, вода и минеральные соли. Минеральный компонент кости представлен гидроксипатитом, в состав которого входят кальций, фосфор, магний, натрий и некоторые другие элементы. Гидроксипатит в костной ткани находится в виде кристаллов размерами $36 \times 5,5$ нм, которые расположены между фибриллами коллагенового вещества и, по мнению большинства исследователей, прочно прикреплены к ним. При этом длинные оси кристаллов параллельны осям фибрилл.

Несмотря на выраженную дискретность строения, в биомеханическом отношении костную ткань можно рассматривать как среду, имеющую сплошное (непрерывное) строение, поскольку размеры структурных элементов кости (кристаллы и фибриллы) несоизмеримо меньше, чем целая кость или выпиленные из нее образцы.

2. Кость однородна и обладает во всех точках одинаковыми свойствами. Отсюда и свойства образцов кости будут одинаковыми независимо от области кости, из которой взят образец.

3. При изучении механических свойств материалов обычно исходят из предпосылки, что в теле до приложения нагрузки нет внутренних (начальных) напряжений. Это принятое в науке о сопротивлении материалов положение практически не распространяется ни на один из биологических материалов. Величина этих напряжений, как правило, неизвестна, однако ее можно определить экспериментальным путем. Подобные внутренние собственные напряжения выявлены в трубчатых и плоских костях [34].

4. В науке о сопротивлении материалов применяется так называемый принцип независимости действия сил. Сущность его заключается в том, что результат воздействия на тело системы сил равен сумме результатов воздействия тех же сил, прилагаемых к телу последовательно и в любом порядке. При этом под термином «результат воздействия» понимают деформацию, внутренние силы, возникающие в теле, перемещение отдельных точек и т. д. — в зависимости от конкретных условий.

5. При изучении механических свойств материалов применяется также принцип Сен-Венана. Он сводится к тому, что в точках

тела, достаточно удаленных от места приложения нагрузок, величина внутренних сил незначительно зависит от конкретного способа осуществления этих нагрузок. Такой подход во многих случаях позволяет производить замену одной системы сил другой, эквивалентной системой и тем самым значительно упростить расчеты. Математические расчеты и экспериментальные исследования показывают, что для выявления внутренних сил в точках, расположенных на расстоянии, большем, чем 1,5–2 наибольших размера контактной площадки, одну нагрузку действительно можно заметить другой, статически эквивалентной.

Последние два положения науки о сопротивлении материалов относятся не к свойствам материалов, а к характеру механического воздействия, которое в процессе испытания может прилагаться как на неживой, так и живой объект.

2.3. Биомеханика повреждений позвоночника

Условия и механизм повреждений позвоночника, являющегося главной опорой тела, чрезвычайно разнообразны. Они наблюдаются при различных транспортных происшествиях, падениях с высоты, спортивных и бытовых травмах, при производственном травматизме и т. д. Особенности повреждений позвоночника в зависимости от механизма травмы изучены еще недостаточно, в связи с чем возникает необходимость специальных исследований различных механизмов травмы позвоночника. Эти исследования помогут тренерам, учителям физической культуры для диагностики и профилактики повреждений позвоночника, инженерам для создания различных устройств по предотвращению травмы позвоночника.

Среди различных факторов, которые приходится учитывать в процессе биомеханических исследований устойчивости позвоночника к механическим воздействиям, более всего поддаются изучению прочностные свойства позвонков, межпозвонковых дисков и связочного аппарата. Однако прочность отдельных позвонков, их комплексов и особенно позвоночника в целом изучена еще недостаточно, особенно в теории и практике спорта [2].

Предел прочности позвонков (по А.П. Громову, 1989)

Наименование позвонка	Предел прочности	Наименование позвонка	Предел прочности	Наименование позвонка	Предел прочности
C1	800	T2	436	T10	860
C2	510	T3	467	T11	917
C3	404	T4	522	T12	1054
C4	408	T5	551	L1	1059
C5	453	T6	619	L2	1175
C6	563	T7	681	L3	1269
C7	464	T8	824	L4	1296
T1	475	T9	840	L5	1286

Полученные данные о средней величине предела прочности позвонков приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что наибольшие нагрузки выдерживали 4-й и 5-й поясничные позвонки, наименьшие – 3-й и 4-й шейные. Авторы установили также общую тенденцию увеличения предела прочности от 3-го шейного позвонка к 5-му поясничному. Это увеличение более отчетливо выражено в нижней части грудного и в поясничном отделах.

Прочность свойства костной ткани тела позвонка определялась по удельной прочности, т. е. нагрузке, приходящейся на 1 см² площади его верхней пограничной пластинки. Эксперименты показали, что эта величина достигает наибольшего значения (117–155 кгс/см²) в шейном отделе, в грудном и поясничном отделах она колеблется от 82 до 100 кгс/см².

Способность позвонков сопротивляться нагрузке авторы оценивали также по их упругой деформации, т. е. по величине деформации, при которой еще не возникают повреждения. В процессе опытов было установлено, что наибольшей величиной упругой деформации обладают поясничные позвонки (1,5–1,9 мм), наименьшей – 3–4-й грудные (около 1,1 мм). Одновременно вычислялась относительная упругая деформация, показывающая, на какую величину в процентах может быть сжат позвонок без повреждений.

Анализ морфологического материала и диаграмм нагружения позволил авторам установить пороговые величины нагрузок, влекущих за собой разрушение позвонков. Первые макроскопически необратимые изменения в виде компрессии лимбовой зоны появлялись при деформации тел позвонков приблизительно на 12–13 % от исходной высоты. Сжатие позвонков на 17–18 % вызывало появление трещин и компрессии в области талии. Увеличение сжатия до 24–26 % от их первоначальной высоты приводило к возникновению переломов тел позвонков без смещения отломков, а продолжающееся сжатие на 36–37 % вызывало переломы со смещением. При увеличении относительной деформации до 40–50 % наступало полное размятие тел позвонков.

При сжатии тел позвонков в среднем на 11,6 % их высота после снятия нагрузки восстанавливалась до 98,6 % исходной высоты. Если сдавление позвонков производилось на 54,2 %, то после снятия нагрузки их высота восстанавливались до 83,6 % от их первоначальной высоты. Следовательно, величина распрямления тел позвонков зависела от степени компрессии. Так, после сжатия позвонков в среднем на 11,6 % величина распрямления тел равнялась 10,2 %, после деформирования на 54,2 % распрямление составляло 37,8 % первоначальной высоты.

При большей степени деформирования С.А. Гозулов и В.А. Корженьянец отмечали компрессионные переломы крайних позвонков и поперечные переломы (во фронтальной плоскости) тела среднего позвонка с вдавлением костных отломков и проникновением содержимого ядра дисков вглубь ячеистой структуры всех тел позвонков [14].

Для выявления сопротивляемости участков позвоночника, имеющих физиологическую кривизну, авторами были проведены эксперименты с приложением нагрузки по вертикальной оси шейного, грудного и поясничного отделов позвоночного столба. Было установлено, что прочность шейного отдела колебалась от 120 до 170 кгс, при упругой деформации – от 4 до 5,2 мм. Предел прочности грудного отдела составлял 190 кгс при величине упругой деформации, равной 5,3 мм. Наиболее прочным оказался поясничный отдел, который выдерживал нагрузку в среднем 420 кгс при упругой деформации 5–8,5 мм.

В эксперименте с целой грудной клеткой определялась прочность грудного отдела позвоночника, заключенного в замкнутую систему ребер и грудины. В этом случае предел прочности оказался равным 240 кгс, а величина упругой деформации — 33 мм.

Полученные авторами результаты показали, что предел прочности вычисленных участков позвоночного столба уменьшается с увеличением количества позвонков, а величина упругой деформации возрастает.

Исследования установили, что характер распределения сил сжатия и растяжения в отдельных позвонках зависит от многих факторов и в первую очередь от формы самого позвонка. Топография напряжений в целом комплексе шейного отдела позвоночника зависит от его положения в момент нагрузки (сгибание, разгибание) и его длины. Эти данные позволяют объяснить механизм наиболее частых переломов шейного отдела позвоночника, их локализацию и морфологию.

Полученные результаты дают возможность судить о характере повреждений, возникающих при статической нагрузке растяжения до 100 кгс, а также установить пороговые нагрузки (60–80 кгс) для мышечных образований задней поверхности шейного отдела позвоночника и области его сочленения с затылочной костью.

Однако результаты перечисленных выше работ позволяют лишь ориентировочно судить о биомеханике повреждений позвоночника у живого человека, поскольку эти исследования производились на изолированных позвонках или изъятых из трупа отдельных участках позвоночника. Поэтому для изучения большее значение имеют исследования на биоманекенах.

2.4. Амортизация ударных нагрузок

Как показывает практика, каждая постановка ноги на опору при ходьбе или беге является своеобразным ударом. Ударные волны, распространяясь по телу, могут в конечном итоге привести к повреждениям опорно-двигательного аппарата. Проблема эта довольно серьезна. Значительный процент взрослого населения (в особенности мужчины-горожане) имеет те или иные патологические изменения

позвоночника (межпозвоночный остеохондроз, спондилез и др.) и связанные с этим неврологические заболевания (радикулиты и прочие). Правдоподобной является гипотеза, объясняющая эти дегенеративные изменения в определенной степени теми условиями, в которых нам приходится передвигаться. (Несовершенство рабочих поз и мебели, при которых нагрузка на позвоночник оказывается чрезмерно большой, тоже не сбрасывается со счетов.) Суть состоит в том, что эволюционно, природно, наш двигательный аппарат приспособлен к тому, чтобы ходить босиком (или в мягкой обуви) по мягкой земле. Мы же ходим в твердой обуви по жесткой поверхности, накапливая к 35–40 годам десятки миллионов ударов, получаемых при каждом шаге, изо дня в день и из года в год.

Имеющиеся по этому вопросу научные данные добыты в результате исследований, выполненных в трех различных направлениях:

- непосредственная регистрация ударных нагрузок, испытываемых различными частями тела;
- экспериментальное определение тех патологических изменений, которые наблюдаются в двигательном аппарате при передвижении на грунтах различной твердости (естественно, что такие эксперименты возможны только на животных);
- анализ данных медицинской статистики.

Для получения данных об ударных нагрузках, испытываемых телом при ходьбе и беге, приходится прибегать к довольно изощренным методам. Например, чтобы избежать смещения кожи и добиться жесткости фиксации датчиков ускорения на теле, их крепили непосредственно к большеберцовой кости, используя специальные жесткие спицы диаметром 1,14 мм (рис. 4). Из этого можно сделать выводы:

- а) ударные нагрузки на стопе довольно велики (на каблуке, например, до 30 g);
- б) ударные нагрузки амортизируются нижними конечностями и туловищем;
- в) величина ударных нагрузок зависит от вида обуви и покрытия.

Конечно, величина ударных нагрузок зависит еще от того, как идти: при мягкой «кошачьей» походке ударные нагрузки намного ниже, чем при строевом солдатском шаге.

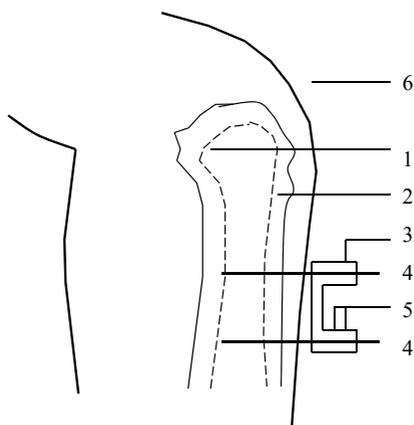


Рис. 4. Крепление датчика ускорения в большеберцовой кости:
 1 – костномозговая полость; 2 – большеберцовая кость; 3 – несущая платформа; 4 – спицы; 5 – датчик ускорения; 6 – кожа

Данные медицинской статистики говорят о том, что у лиц, деятельность которых связана с увеличенной нагрузкой на межпозвоночные диски, патологии позвоночника встречаются чаще.

Особенно четко влияние твердости поверхностей сказывается в спорте, где в последние годы распространилось использование искусственных покрытий (типа «Тартан», «Рекортан», «Астротурф» и других). Это послужило росту спортивных результатов, облегчило эксплуатацию спортивных сооружений, но в то же время привело к возникновению у спортсменов заболеваний опорно-двигательного аппарата, не имевшихся ранее [12]. В медицинской литературе появился термин «тартовый синдром» [35]. Количество жалоб на боли в спине и колене при игре в теннис на покрытиях из синтетических материалов примерно в два раза больше, чем при игре на песчаном покрытии (рис. 5). Вообще частота обращений к врачу при тренировках на синтетических покрытиях больше, чем при тренировках на траве.

Амортизация ударных нагрузок при передвижении человека происходит за счет свойств: а) самого двигательного аппарата; б) обуви; в) покрытий. Рассмотрим их.

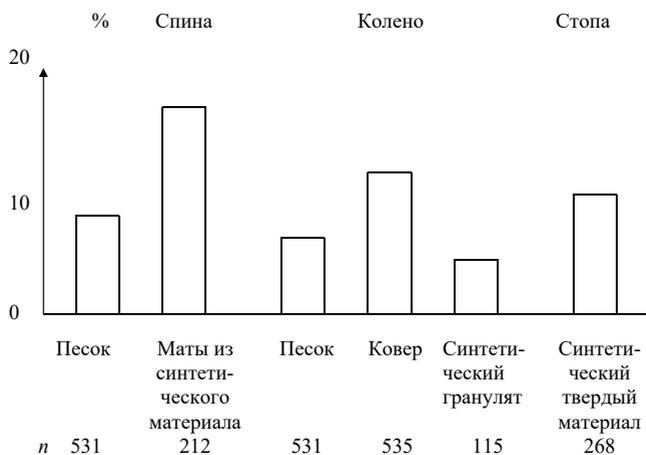


Рис. 5. Частота жалоб теннисистов, играющих на различных покрытиях. По оси ординат – число жалоб в процентах; n – число теннисистов, играющих на данном покрытии

В основном амортизация осуществляется за счет сгибания коленного сустава. Если ноги хотя бы немного согнуты, эта амортизация может происходить очень успешно. Например, у горнолыжников ускорение на ботинке в направлении, перпендикулярном склону, порой достигает 100 g; ускорение же головы в этих условиях (у хороших спортсменов) не превышает 4–5 g. Коэффициент передачи (т. е. отношение амплитуды сигнала на «выходе» – голове к амплитуде сигнала на «входе» – стопе) составляет в этом случае всего 0,04–0,05. Это приближается к коэффициенту передачи подвесок в современных легковых автомобилях. Но в быту такая подчеркнутая амортизация за счет сгибания в коленных суставах, как правило, не происходит. Основными амортизаторами в этом случае являются стопа, суставные поверхности нижних конечностей и межпозвоночные диски.

Амортизационные свойства стопы очень важны (сравните величины ускорений на пятке – порядка 25–30 g – с величинами ускорений на голени – порядка 4–7 g. Некоторые заболевания, в частности плоскостопие (рис. 6), резко ухудшают амортизационные свойства стопы: в этом случае коэффициент передачи возрастает. Поэтому ортопедическая обувь должна быть с улучшенными демпфирующими качествами.

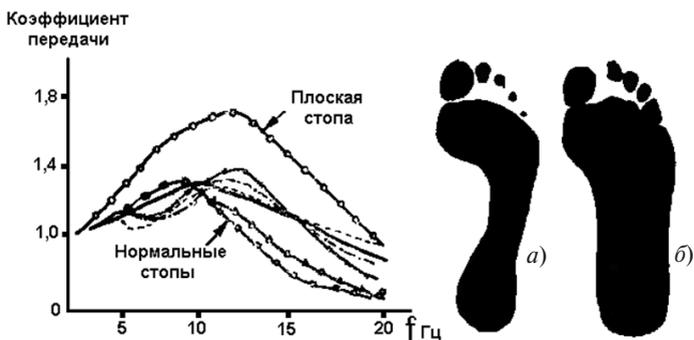


Рис. 6. Показатели свойств стопы:
a – нормальная стопа; *b* – плоская стопа

Интересной новинкой здесь являются туфли для оздоровительного бега с пневматической подошвой: перед бегом в подошву подкачивается специальным насосом воздух.

О важности амортизирующих свойств опорных поверхностей (в частности, покрытий спортивных сооружений) уже упоминалось. Рис. 7 и 8 иллюстрируют влияние разных покрытий на ускорение голени и стопы при ходьбе и беге.

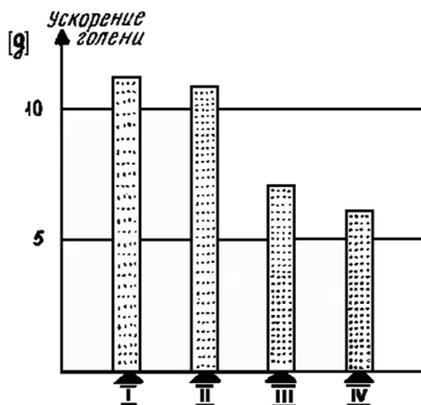


Рис. 7. Средние величины ускорения голени, измеренные при беге (152 шаг/мин) по различным покрытиям: *I* – искусственное покрытие; *II* – асфальт; *III* – горячая дорожка; *IV* – травяной покров

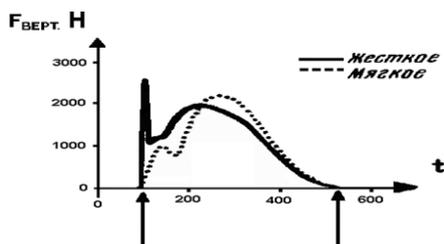


Рис. 8. Сила опорной реакции на жестком и мягком покрытиях при беге трусцой с пятки. Стрелками обозначены первый и последний моменты контакта с покрытием

Разумеется, не следует думать, что чем мягче покрытие, тем лучше. Бег по толстому слою поролона был бы мало приятен, а бег по батуту — вообще невозможен. Оптимальное покрытие, как уже отмечалось, должно позволять показывать высокие спортивные результаты и в то же время оберегать опорно-двигательный аппарат от перегрузок.

2.5. Механическая работа и энергия при ходьбе

Общая работа, совершаемая при ходьбе по горизонтальной плоскости, измеряется как сумма внешней работы, совершаемой для перемещения общего центра массы тела (ОЦМТ), и внутренней, совершаемой для перемещения звеньев тела относительно ОЦМТ. Полная механическая энергия, характеризующая состояние движения всех звеньев тела, может быть выражена уравнением

$$E = E m g h_i + 1/2 M V_c^2 + 1/2 E m_i (V_i - V_c)^2 + 1/2 E I_i W_i^2,$$

где E — полная энергия всех звеньев тела; m_i — масса звена; g — ускорение свободного падения; h_i — высота центра масс звена над опорой; M — масса испытуемого; V_i — линейная скорость ОЦМТ; V_c — линейная скорость центра масс звена; I_i — момент инерции звена относительно его центра масс; W_i — угловая скорость звена.

Таким образом, первый член уравнения представляет потенциальную энергию ОЦМТ, второй — кинетическую энергию, третий — энергию поступательного движения всех звеньев относительно ОЦМТ, четвертый — энергию вращательного движения относительно ОЦМТ. Сумма первого и второго членов равна внешней энергии движения ОЦМТ, которая не влияет на его движение.

Анализ энергетических характеристик является едва ли не самой сложной и интересной проблемой, особенно актуальной при биомеханическом анализе таких видов локомоции человека, как нормальная и спортивная ходьба, а также бег на средние и длинные дистанции. Поэтому при изучении энергетических характеристик следует вначале определить, какая основная двигательная задача ставится при выполнении той или иной локомоции.

В основе нормальной и спортивной ходьбы лежит задача переместить свое тело на значительное расстояние. При этом движение звеньев тела организуется таким образом, чтобы уменьшить какую-то функцию или ряд функций организма, приводящих к наименьшим затратам. Установлено, что при нормальной ходьбе энергозатраты зависят от скорости ходьбы, от соотношения длины и частоты шагов при заданной скорости ходьбы, от вида и массы обуви и др. [21]. При оптимальном сочетании длины и частоты шагов энергозатраты на единицу пути могут достигать минимальных значений. Этот факт убеждает в том, что в процессе управления движениями мозг выбирает такие варианты движений, при которых достигается уменьшение каких-либо целевых функций. Например, уменьшаются энергозатраты, силы мышечной тяги и создаваемые ими моменты сил [25]. Кроме того, с увеличением скорости спортивной ходьбы уменьшаются вертикальные перемещения ОЦМТ, а значит, изменение его потенциальной энергии. Таким образом, энергию звеньев тела человека при ходьбе следует рассматривать с точки зрения минимальных изменений механической работы.

2.6. Биоэнергетика двигательных действий

Организм человека можно рассматривать как открытую систему, энергетические потребности которой удовлетворяются за счет использования химической энергии окисления поступающих пищевых продуктов. Полученная таким образом энергия распределяется по многим «статьям расхода», одной из которых является обеспечение работы и изометрической активности мышц; другие затраты энергии можно считать в некотором смысле вынужденными.

Единственный источник энергии биосистемы — окислительные процессы, задачей которых является сохранение постоянства энергетического потенциала. Согласно этому принципу биосистема в ответ на изменение внешней силы (нагрузки) совершает работу. В зависимости от вида механической работы соответствующий потенциал (энергетический и т. д.) выравняется, однако в ответ на это в биосистеме запускаются процессы, восстанавливающие его до прежнего уровня. Источником энергии, обеспечивающим восстановление данного потенциала и находящимся в самой биосистеме, является изменение величины свободной энергии химических соединений. В «состоянии устойчивого неравновесия» биосистема может находиться до тех пор, пока она еще способна извлекать свободную энергию из химических соединений и превращать ее в полезную работу.

Однако если в понятие биосистемы включить элементы внешней силы, с которой она обменивается массой и энергией, то в этом случае биосистема приобретает устойчивость на весь период существования (жизни). Выражение «состояние устойчивого неравновесия» с учетом факторов внешней силы приобретает иное, более широкое значение. Оно предполагает не только процессы катаболизма в целях сохранения постоянства энергетического потенциала биосистемы, но также восстановление разрушенных структур (процессы анаболизма) за счет пластических материалов и свободной энергии внешней силы. Механизмы, связанные с извлечением свободной энергии химических соединений и трансформацией ее в различные виды физиологической работы, сложны и разнообразны и протекают в организме в соответствии с первым законом термодинамики. Энтропия такой биосистемы всегда стремится к минимуму, при этом она сохраняет способность выполнять физиологические функции (совершать работу) в течение всего периода существования.

Изменения энергетического обмена в условиях физической нагрузки реализуются на всех уровнях организации биосистемы — от организменного до клеточного. Показано, что в организме в целом 50 % общего калоража основного обмена получается за счет окисления углеводов, а 50 % — за счет окисления жиров. При действии физических нагрузок энергообеспечение физиологических процессов существенно перестраивается. На первых этапах оно идет за счет

использования углеводных резервов. Однако запасы углеводов в организме невелики, и в дальнейшем энергообеспечение осуществляется уже за счет окисления липидов, главным образом нейтральных жиров — триглицеридов, запасы которых неизмеримо выше.

Нет сомнения, что в органах с высокой функциональной специализацией при действии на организм внешних сил энергетический обмен меняется по-разному. В связи с этим важную роль приобретают проблема межорганной кооперации в решении энергетических задач на уровне целостного организма и проблема снабжения высокоспециализированных органов специфическими энергетическими субстратами в зависимости от фазы и степени выраженности адаптационных изменений. Особенности изменения метаболизма в различных органах и системах организма также различны.

В двигательных действиях происходит превращение одних видов энергии в другие (химической — в механическую и тепловую) и преобразование механической энергии (кинетической — в потенциальную и наоборот). Изучение источников энергии, путей ее перехода, условий индивидуального использования и ее потерь необходимо для совершенствования систем движений.

Подвод энергии в биомеханическую систему совершается в результате: а) превращения химической энергии в механическую потенциальную напряженной мышцы; б) перехода работы внешних сил в кинетическую энергию биомеханической системы и потенциальную энергию деформированных мышц и перемещаемого тела. Энергия расходуется: а) на производительную работу; б) непроизводительные затраты, связанные с ее превращением и рассеянием энергии; в) преобразование ее при накоплении в растянутой мышце.

Механическое движение человека сопровождается изменением механического состояния его тела; это состояние определяется энергией биомеханической системы. Величина и характер расхода энергии при движениях зависят от особенностей движений. Коль скоро происходит расход энергии, необходим и подвод энергии.

Существуют по меньшей мере два источника энергии, используемой в движениях. Первый источник — запасы химической энергии. Этот источник находится в мышцах, других органах и крови. В мышцах происходят химические реакции, и возникает напряже-

ние в сократительных элементах: химическая энергия превращается в механическую — потенциальную энергию упруго деформированных элементов мышц. Второй источник энергии движений — это механическая энергия внешнего окружения (внешних тел, среды, партнеров и противников). Она передается телу посредством работы внешних сил: а) кинетическая энергия движущихся объектов (например, бросков, выполненных противником в борьбе) и б) потенциальная энергия положения (например, движение вниз при соскоке с перекладины в поле земного тяготения). В этих случаях спортсмен движется пассивно. Все активные движения совершаются благодаря преобразованию потенциальной энергии напряженных мышц в кинетическую энергию звеньев тела и всего тела в целом. Силы тяги мышц совершают работу. Напомним, что работа силы — процесс изменения энергии (состояния). Всегда, когда изменяется количество или форма энергии, это является следствием работы сил.

Приобретенная энергия не всегда тотчас же расходуется. Неизрасходованная энергия накапливается. Химическая энергия «запасается» благодаря питанию и дыханию человека. Она превращается в механическую (потенциальную) энергию напряженных мышц. Накопление энергии в мышцах происходит и другим путем — когда мышцы растягиваются в уступающей работе, тормозя движение звеньев тела. Кинетическая энергия последних преобразуется в потенциальную энергию упруго деформированных мышц. Наконец, накопление энергии может быть в виде потенциальной энергии тела человека, когда он поднимает себя против сил тяжести.

А каковы же затраты механической энергии тела человека? Естественно, что, когда человек двигается, он затрачивает кинетическую энергию на передвижение своего тела и движимых им внешних тел (например, метание диска). Работа против внешних сил идет за счет уменьшения механической энергии тела с увеличением кинетической энергии внешних тел. Как известно, затраты кинетической энергии бывают производительными (на решение двигательной задачи) и непроизводительными (против вредных сопротивлений, например, сил трения). Возможны затраты кинетической энергии тела, как уже упоминалось, и на превращение ее в потенциальную (например, движение вверх в висячем положении на перекладине после маятникообразного движения

вниз). Ранее были названы способы затраты кинетической энергии на накопление потенциальной энергии как в мышцах (рекуперация энергии), так и во всем теле в поле земного тяготения.

При всех изменениях энергии значительная часть ее превращается в тепловую и рассеивается.

Контрольные вопросы

1. Что такое топография работающих мышц?
2. Приведите примеры ситуаций из практики физического воспитания и спорта, когда необходимо биомеханическое обоснование:
 - а) техники двигательных действий;
 - б) тактики двигательной деятельности.

Задания для самоконтроля и закрепления знаний

1. Самостоятельно рассмотрите топографию мышц, работающих при наклонах вперед, а также при поднимании ног и туловища лежа на спине. Нарисуйте динамограммы этих упражнений, предполагая, что выполняющий их человек стоит или лежит на динамографической платформе.

2. Выполните анализ кинезициклограммы бега (а именно пространственных характеристик) расчетно-аналитическим методом:
- а) анализ угловых характеристик;
 - б) анализ колебаний ОЦМ;
 - в) определение длины одного шага, частоты шагов, средней скорости. Сделайте выводы по работе.

Инвентарь: миллиметровая бумага, карандаш, транспортир.

Глава 3. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ И ФУНКЦИИ ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЧЕЛОВЕКА

3.1. Общая характеристика двигательного аппарата

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».

Главнейшие биологические особенности, отличающие двигательный аппарат человека от неживых технических механизмов, состоят в следующем:

1. Аппарат движения живых существ построен из живых тканей и органов, в которых постоянно, в том числе и в покое, происходит обмен веществ. Структурной и функциональной основой живой материи является белок – сложное, химически активное и неустойчивое вещество. Химические превращения белковых молекул, вступающих в разнообразные реакции с другими органическими и неорганическими веществами, являются сутью внутриклеточного обмена веществ и специфической рабочей деятельности клеток (например, сократительной). В связи с этим становится понятной чрезвычайная зависимость строения и функции клеток и органов от их рабочего использования, от интенсивности протекающего в них обмена веществ. Для поддержания тканей и органов двигательного аппарата в состоянии высокой работоспособности необходимо их постоянное и должное использование; длительное пребывание в покое снижает работоспособность. Морфологическое и функциональное совершенствование под влиянием работы и деградация при

бездеятельности являются важной особенностью двигательного аппарата человека.

2. В технической машине производимые ею движения предопределены раз навсегда самой формой сочленений между движущимися частями. Напротив, двигательный аппарат человека построен так, что из одних и тех же структурных единиц (костей с их сочленениями, связок и мышц) может быть образовано множество различных механизмов с различными рабочими заданиями.

3. Функциям двигательного аппарата человека присущ рефлексоторный принцип регуляции. Двигательная деятельность человека, в том числе произвольная, представляет собой систему безусловных и условных рефлексов на раздражения, действующих в данное время или действовавших ранее и сохранившихся в нервных центрах в виде следов. Таким образом, двигательная деятельность обеспечивается не только работой собственно двигательного аппарата, но и работой органов чувств и центральной нервной системы. Именно рефлексоторный механизм, и в особенности способность к образованию временных связей (условных рефлексов), обеспечивает многообразное использование одних и тех же структур двигательного аппарата, непрерывное приспособление движений к текущим условиям среды, то есть «уравновешивание» организма со средой. Именно высшая нервная деятельность определяет рабочее применение двигательного аппарата как органа биологически целесообразных движений, а у человека и как органа социально значимой двигательной деятельности — трудовых, спортивных и других движений [37].

Но необходимо иметь в виду следующее: положение о том, что двигательный аппарат человека представляет собой своеобразную рабочую машину, механизм, состоящий из сложной системы костных рычагов, приводимых в движение мышцами, требует специального обсуждения. Вообще говоря, рабочей машиной или механизмом называется система тел, связанных между собой таким образом, что внесенное в них движение производит точно определенный рабочий эффект. Если рассматривать двигательный аппарат человека, пользуясь этим критерием, то становится очевидным, что «система костных рычагов» является рабочей машиной лишь при определенных условиях.

Рассмотрим возможности движений в сочленениях между костями скелета. Характер движения в том или ином сочленении определяется не только соотношением моментов взаимодействующих сил, но и строением сочленений. Форма соединений между твердыми телами в значительной мере предопределяет возможности движений этих тел относительно друг друга.

Ничем не ограниченное в свободе перемещения твердое тело обладает шестью степенями свободы. Это значит, что ему доступны, во-первых, поступательные движения в трех измерениях пространства (вверх — вниз, вперед — назад, вправо — влево) и, во-вторых, вращательные движения в тех же измерениях. Все движения тела могут быть сведены к движениям в трех взаимно перпендикулярных плоскостях и вокруг трех взаимно перпендикулярных осей. Всякое фиксирование одного твердого тела относительно другого ограничивает свободу его перемещения, т. е. препятствует его движениям в том или ином направлении.

Рассмотрим возможность движений двух твердых тел (например, костей), соприкасающихся в одной точке. Очевидно, что эти тела могут перемещаться относительно друг друга во всех направлениях, за исключением одного — они не могут войти внутрь друг друга и оторваться друг от друга, согласно условию задачи. Для этих тел имеются возможности: 1) скольжения в двух направлениях пространства и 2) вращательные движения одного тела относительно другого вокруг трех осей, проходящих через неподвижную точку касания. Таким образом, при соприкосновении в одной точке два сочлененных тела сохраняют пять степеней свободы перемещений между собой. Всякое прибавление новой точки касания уменьшает свободу перемещений по крайней мере на одну степень.

Из сказанного следует, что в зависимости от формы суставных поверхностей подвижность костей относительно друг друга является различной. Теоретически наибольшая подвижность составляет пять степеней свободы. Однако на самом деле подвижность в суставах ограничена максимум тремя степенями свободы. Ограничение подвижности создается суставной сумкой, внутрисуставными связками и гиалиновым хрящом суставных поверхностей. Благодаря этим структурам костный сустав малого соприкосновения превращается,

в сущности, в конгруэнтный сустав о трех степенях свободы максимум, с тем отличием от неживых суставов технических механизмов, что соприкосновение и перемещение происходят между деформируемыми поверхностями, поэтому нет такого исключительного предопределения возможных движений.

К числу суставов с тремя степенями свободы относятся шаровидные суставы, где возможны движения в следующих трех направлениях: 1) поворот (пронация и супинация), 2) приведение и отведение во фронтальной плоскости и 3) сгибание и разгибание в сагиттальной плоскости. Такими суставами являются плечевой и тазобедренный суставы. К числу суставов с двумя степенями свободы относятся: коленный сустав, который допускает сгибание и разгибание, а также некоторый поворот голени относительно бедра; запястно-пястный сустав большого пальца кисти и некоторые другие. Суставами с одной степенью свободы являются: плече-локтевой, межфаланговые суставы пальцев, сочленение стопы с большеберцовой костью и др.

Несколько звеньев тела, соединенных суставами, называются кинематической цепью. *Биокинематическая цепь* — это последовательное либо незамкнутое, либо замкнутое соединение ряда биокинематических пар. Различают незамкнутые кинематические цепи, которые закреплены лишь на одном конце (например, конечность человека, имеющая только центральную опору), и замкнутые кинематические цепи, закрепленные на обоих концах (например, ребро — позвонок — ребро — грудина). В незамкнутой кинематической цепи движения концевых звена в отношении начального определяются суммой степени свободы всех промежуточных звеньев. Так, например, в сочленениях кинематической цепи руки имеются следующие степени свободы: локтевая кость в отношении плечевой — одну, лучевая кость в отношении локтевой — также одну и, наконец, кисть в отношении лучевой кости имеет две степени свободы. Это значит, что кисть может совершать различные перемещения в пространстве относительно туловища в пределах радиуса всей руки, как бы не будучи с ним совсем связанной (напомним, что не связанные друг с другом тела имеют 6 степеней свободы).

Сказанное выше заставляет сделать следующее важное заключение. С механической точки зрения скелет и мертвое человеческое тело не представляют собой машины, так как имеют чрезмерно большую свободу движения. У технической машины, например, у какого-нибудь станка, производимые движения единообразны и предопределены самой формой сочленений между движущимися частями. Уже по своей форме технический «сустав» является полностью связным, т. е. обладает одной степенью свободы.

Однако, как мы видели, в сустав кинематических цепей человеческого тела входят и суставы с двумя и тремя степенями свободы. Следовательно, по своей конструкции, с точки зрения анатомии сочленений, двигательный аппарат человека вообще не является рабочей машиной.

Двигательный аппарат становится рабочей машиной лишь благодаря активному исключению ненужных, побочных движений тоническим напряжением мышц; при этом рабочее движение производится не этой, а другой группой мышц. Там, где свобода перемещений должна быть устранена, мышцы противопоставляют активное сопротивление, как бы «запирающее» сустав в определенных направлениях. Там же, где должно осуществляться рабочее движение, мышцы тетанически сокращаются, а мышцы-антагонисты уменьшают свое тоническое напряжение, уступают движению, расслабляются. «Для каждого отдельного момента движения нашего тела более или менее правильно действующие рабочие механизмы достигаются настолько, насколько устраняются все свободы перемещения, за исключением одной; а это достигается распределением тонуса, тетанического сокращения и расслабления (торможения) в мускулатуре» [46].

Из всего сказанного вытекает весьма важный вывод. Изобилие возможных перемещений в теле человека приводит к тому, что одна и та же система сочленений или кинематических цепей может попеременно представлять собой множество различных механизмов посредством перераспределения в мышцах напряжения, сокращения и расслабления.

Итак, с точки зрения механики тело человека при отсутствии управления мускулатурой со стороны нервной системы не представ-

ляет собой ни механизма, ни машины. При условии же правильного управления мышцами со стороны нервной системы тело оказывается вовсе не однообразным механизмом и не однозначно действующей машиной. Оно является множеством механизмов и машин, которые калейдоскопически сменяют друг друга применительно к условиям работы в каждый данный момент.

Эта возможность функциональной перестройки двигательного аппарата широко используется в трудовой деятельности, физическом воспитании и спорте, хореографическом искусстве и т. д. Очевидно, что знать физиологические и биомеханические закономерности этих перестроек для правильной организации движений человека совершенно необходимо.

Наконец, необходимо сказать о мышечной силе. Активной частью двигательного аппарата является скелетная мышца. При возбуждении мышцы в ней возникает активная сила, стремящаяся сблизить концы мышцы и уменьшить ее длину. Эта мышечная тяга, действуя через кости скелета, обуславливает активные движения человека.

В естественных условиях переход мышцы из состояния покоя в состояние деятельности возникает лишь под влиянием центральной нервной системы. Суть этого явления такова. При возбуждении, которое вызывает в мышечном волокне нервные импульсы, происходит расщепление некоторых богатых энергией химических веществ. Освобождаемая при этом энергия изменяет электрические заряды сократительных белков. При этом благодаря силам электростатического взаимодействия в белковых молекулах появляется натяжение, которое передается на концы мышечного волокна. Натяжение, или напряжение сотен и тысяч мышечных волокон, складывается в общее напряжение мышцы. Если условия работы таковы, что концы мышцы имеют возможность сблизиться (т. е. если действие силы мышцы больше действия силы сопротивления), то происходит сокращение мышцы и движение той или иной части тела.

Сказанное выше позволяет охарактеризовать мышечный двигатель как двигатель хемодинамический, где движение происходит в результате высвобождения потенциальной химической энергии. Мышечная сила, или мышечная тяга, есть напряжение, возникающее в мышце по причине освобождения потенциальной химиче-

ской энергии при расщеплении органических веществ под влиянием нервных импульсов.

3.2. Синергизм и антагонизм в работе мышц

Как известно, через каждый сустав проходит не одна мышца, а несколько. Движение в суставе есть результат группового взаимодействия мышц. 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 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. Мы видим, что 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.

Мышцы бывают односуставные и многосуставные. Односуставные мышцы прикрепляются своими сухожилиями на двух соседних частях скелета и переходят только через один сустав. При своем сокращении эти мышцы непосредственно могут вызвать активное движение лишь в одном, обслуживаемом ими суставе. Многосуставные мышцы имеют прикрепление не на соседних, а на отдаленных друг от друга частях скелета и переходят через два и более сустава. Сокращаясь, эти мышцы могут произвести активное движение в нескольких суставах. Так, например, прямая мышца бедра может одновременно произвести сгибание в тазобедренном суставе и разгибание в коленном. Многосуставные мышцы играют важную роль в работе кинематических цепей двигательного аппарата.

Односуставные мышцы-антагонисты, например сгибатели и разгибатели, своим одновременным напряжением укрепляют и фиксируют сустав, т. е. лишают его подвижности. Многосуставные мышцы-антагонисты своим одновременным напряжением прижимают суставные поверхности, укрепляют суставы, но могут не лишать их подвижности.

Необходимо обратить внимание, что и односуставные мышцы способны произвести движение не только в том суставе, через который они переходят, но и в соседних, и в отдаленных, и даже в точке подвеса подвижного гимнастического снаряда. Так, например, сокращение плечевой мышцы, производящее сгибание предплечья, сопровождается некоторым разгибанием плеча, т. е. движением назад, если плечевой сустав не закреплен. Аналогичное движение происходит при переходе в положение «угол» из виса на перекладине

в лучезапястном суставе, ближайшем к опоре. При подобных упражнениях на подвижных снарядах такое же движение происходит не в суставе, а в точке подвеса снаряда. Эти движения являются по своему значению компенсаторными. Они происходят в силу механических причин благодаря действию 3-го закона Ньютона.

В ряде случаев, однако, такие «сопутствующие» движения в других суставах происходят благодаря мышечной тяге. Так, например, при сгибании предплечья растягивается трехглавая мышца, находящаяся на задней поверхности плеча. При растягивании этой мышцы ее длинная головка, прикрепленная к лопатке, производит разгибательное движение в плечевом суставе. Мышечная сила возрастает вследствие рефлексного увеличения напряжения трехглавой мышцы при ее растягивании (рефлекс на растягивание). Устранение ненужных сопутствующих движений достигается посредством напряжения определенных мышц и является одной из важных задач координационной деятельности центральной нервной системы.

От длины мышечных волокон зависит величина сокращения и растягивания мышц. Односуставные мышцы, как правило, обладают достаточной длиной волокон, чтобы обеспечить движения в суставе по полной дуге: синергисты — сокращаясь, а антагонисты — растягиваясь. Многосуставные мышцы, переходящие через два или несколько суставов, не обладают достаточной длиной волокон, чтобы обеспечить полную дугу движений во всех суставах, если эти движения происходят одновременно. У синергистов не хватает для этого способности сокращаться, а у антагонистов — растягиваться. Так, например, поднятие прямой ноги вперед из положения стоя возможно только примерно до горизонтали (90°). Дальнейшее поднятие затормаживается растянутыми до предела двусуставными мышцами бедра (полусухожильной, полуперепончатой, длинной головкой двуглавой мышцы бедра). При сильном сжимании пальцев в кулак нельзя сделать ладонного сгибания кисти из-за предельного растягивания мышц разгибателей пальцев. Недостаточная способность сокращаться у многосуставных мышц может быть компенсирована работой односуставных. Недостаточная способность растягиваться у многосуставных мышц, связанная с недостаточной длиной волокон, получила условные названия «активная недоста-

точность» (при сокращении) и «пассивная недостаточность» (при растягивании).

Другая особенность многосуставных мышц заключается в передаче ими движения с одного сустава на другой, с одного звена кинематической цепи на другие без сокращения — только благодаря обычному мышечному тону. В самом деле, всякое движение в суставе связано с растягиванием односуставных мышц-антагонистов. Иначе могут вести себя при этом многосуставные мышцы-антагонисты: вместо того чтобы растягиваться, они могут вызвать компенсаторное движение и за счет этого движения сохранить почти неизменной свою длину. Приведем два примера.

1. При сгибании ноги в тазобедренном суставе (путем сокращения подвздошно-поясничной мышцы, гребковой и других односуставных мышц) происходит одновременно сгибание ноги в коленном суставе (вследствие тонуса многосуставных мышц — полусухожильной, полуперепончатой, длинной головки двуглавой мышцы бедра) и некоторое тыльное сгибание стопы (вследствие тонуса передних мышц). При обратном движении в тазобедренном суставе (путем сокращения ягодичных мышц) произойдет разгибание в коленном суставе (вследствие тонуса прямой мышцы бедра), а в голеностопном суставе — подошвенное сгибание (вследствие тонуса икроножных мышц, рис. 9).

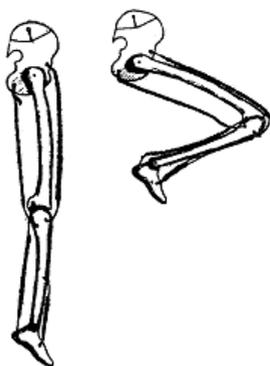


Рис. 9. «Мышечная координация» по Бейеру (схема действия двусуставных мышц на модели)

2. При тыльном сгибании кисти одновременно происходит сгибание пальцев (в пястно-фаланговых и межфаланговых суставах) вследствие тонуса мышц-сгибателей пальцев. При ладонном сгибании кисти одновременно происходит разгибание пальцев вследствие тонуса мышц-разгибателей.

Такая особенность действия многосуставных мышц названа Бейером «мышечной координацией». «Мышечная координация» является полезной особенностью многосуставных мышц, экономящей затраты энергии тогда, когда вызываемые ею движения соответствуют разрешаемой двигательной задаче. Например, при ходьбе и беге, особенно в гору или по лестнице, для выноса согнутой ноги вперед-вверх нужна активная работа только односуставных мышц в тазобедренном суставе, а движения в коленном и голеностопном суставах будут обеспечены в основном «мышечной координацией» и силой тяжести. Держание ручки или карандаша при письме согнутыми пальцами облегчается проявлением «мышечной координации» благодаря тыльному сгибанию кисти. При письме с сильным нажимом на карандаш или на перо, когда приходится значительно увеличить активную работу сгибателей пальцев, мышцы быстро утомляются. В других случаях «мышечная координация» может оказаться нежелательной. Например, при отталкивании во время прыжка в высоту выгоднее делать маховое движение свободной ногой в выпрямленном, а не согнутом положении. Чтобы обеспечить выпрямленное положение ноги, необходимо не допускать проявления «мышечной координации» путем произвольного напряжения четырехглавого разгибателя голени, т. е. против «мышечной координации» применять нервно-мышечную координацию.

3.3. Моторная асимметрия

Моторная асимметрия — это совокупность признаков неравенства функций рук, ног, половин туловища и лица в формировании общего двигательного поведения и его выразительности.

Руки. Рука — «самый полифункциональный орган двигательной активности» [47].

Многообразны функциональные асимметрии рук. У преобладающего большинства населения Земли правая рука превосходит

левую по силе. Эту симметрию выражают формулой: $A = S/D$, где A – асимметрия рук; D – мышечная сила правой; S – мышечная сила левой руки. Это отношение меньше единицы у правшей, больше единицы – у левшей и равно единице – у амбидекстров.

Руки неравны по точности и скорости движений, совершаемых в разных направлениях. Так, точность движений правой руки уменьшается при перемещении тела вправо, левой – при перемещении тела влево. Движения ведущей руки дозируются, управляются, осознаются точнее. При одновременном представлении движений обеих рук больше внимания испытуемого концентрируется на движениях правой руки, если он правша. Движения ведущей руки полнее отражают эмоциональные и личностные особенности человека, отличаются большей степенью автоматизации, а движения указательного пальца этой руки точнее моделируются. Количество изменений направлений движений у правой (ведущей) руки больше, чем у левой (неведущей). Диадохокинез более развит справа, маятникообразные движения при ходьбе больше у левой руки правшей, очень редко они бывают выражены у правой руки левшей, что объясняется «насилием праворукой культуры». Левая рука у правшей более вынослива к статичному усилию, чаще служит опорой, тогда как правая рука играет роль активного исполнителя.

Ф.Б. Березин показал, что коэффициент правая/левая увеличивается при состояниях тревоги и напряжения (усиливается активность правой руки – левого полушария мозга). Этот коэффициент возрастает у правшей при адаптации к новым условиям жизни.

Симметрия – асимметрия рук может изменяться под влиянием длительного практического опыта человека. Так, с увеличением стажа игры у теннисистов нарастает коэффициент праворукости (разница между силой правой и левой рук в процентах), возникает асимметрия тонического показателя (способность к произвольному напряжению и расслаблению мышц). У теннисистов со стажем игры 1–2 года коэффициент правой руки равен 10,5 %; 3–4 года – 18,4 %; 5–6 лет – 18,8 %; 8–10 лет – 19,7 %; 11–15 лет – 23,8 %; при стаже игры свыше 15 лет – 15,9 %. Коэффициент праворукости за время спортивных занятий увеличивается, как видно, с 10,5 % до 23,8 %. Отмечено уменьшение его величины у теннисистов со стажем игры

больше 15 лет: «в этой группе собрались лица, которые прекратили активную тренировку и выступления несколько лет назад. Эти цифры говорят о том, насколько обратимой реакцией является изменение степени выраженности праворукости» [16].

Ноги. Ноги не совсем равны по размерам, длине. Обувь, шитая «на две строго симметричные колодки, сидит плотнее на одной, чем на другой ноге». Левая нога «относительно чаще крупнее, чем правая», но относительное число людей с преобладанием левой ноги над правой меньше, чем с преобладанием правой руки над левой – 50–60 %. У ног нет «столь бросающегося в глаза на верхних конечностях разделения труда»; «равноножие» должно быть более частым, чем «равноручие» [33].

Важны данные о неравенстве ног по многим функциям. Исследования говорят о раннем выявлении опорной и ведущей ноги: уже в возрасте 17, 51, 82 и 105 дней в рефлексе переступания у детей чаще преобладает правая нога.

Ноги неравны по силе. На степени этой асимметрии сказывается образ жизни, опыт профессиональной деятельности человека. Этот вопрос актуален в спорте. У юных барьеристов (15–18 лет) сильнейшей оказывается правая нога (сгибатели и разгибатели стопы, голени, бедра), хотя у большинства из них толчковой является левая нога. В отличие от прыгунов и метателей силовая асимметрия ног у барьеристов выражена больше; закрепляется в процессе тренировки в качестве преимущественно удобной правая нога [3]. Правосторонняя силовая асимметрия ног отмечена у $71 \pm 1,9$ % спортсменов, левосторонняя – у $17,0 \pm 2,4$ и симметрия – у $11 \pm 1,4$ %. Сильнейшая и толчковая нога совпадали только у 41,9 % прыгунов в длину. Силовая симметрия ног обнаружена у 90 % ходоков, марафонцев и бегунов на длинные дистанции (членов сборной команды России по легкой атлетике), т. е. у представителей тех видов спорта, где «характер работы обеих конечностей требует относительно симметричных движений».

У 23 женщин – мастеров спорта по прыжкам в высоту с разбега с толчковой левой ногой определяли коэффициент асимметрии по формуле

$$K = (F_1 - F_2) / F_1 \cdot 100,$$

где K – коэффициент асимметрии; F_1 – относительная статическая сила сильнейшей ноги и F_2 – слабейшей ноги. Среднеарифметическое значение суммы силы измеренных мышц маховой ноги оказалось больше, чем толчковой: 6,449 и 6,345 соответственно: $K = 1,6$. Правосторонняя асимметрия – у 69,6 %, левосторонняя – у 26,1 % и симметрия – у 4,3 %. «У спортсменов с правосторонней асимметрией силы ног спортивный результат выше, чем у группы прыгунов с левосторонней асимметрией» [23]. У занимающихся волейболом $K = 9,4$ %, спортивной гимнастикой – 12,5 %, художественной гимнастикой – 22 %, легкой атлетикой – 23,9 % и у подростков, не занимающихся спортом, $K = 22,2$ %.

До 89 % прыгунов с разбега как толчковую используют левую ногу, как и 59 % прыгунов в длину и 86 % бегунов на короткие дистанции. Из 686 человек, прыгавших в длину и высоту, 35 % предпочитали толкаться правой ногой, 45 % – левой, остальные (главным образом дети и женщины) пользовались той и другой ногой; есть лица, которые прыжки в длину совершают толчком одной, в высоту – другой ногой.

Неравенство ног выявляется при педалировании. За активным правосторонним давлением по вертикали сохраняется ведущее значение «водителя» силового и темпового режима. Ведущая нога считается более маневренной. С учетом этой асимметрии ног устроены рычаги управления автомобилем: под правой ногой водителя расположен стартер, ножной тормоз и педаль привода дроссельной заслонки, под левой – только педаль сцепления.

Ноги неравны по точности, координации движений и по тому, как осознаются субъектом движения той и другой ноги. Лучшая координация движений правой ноги отмечена у $90 \pm 0,9$ % обследованных Э.Х. Амбаровым лиц, левой – у $8 \pm 0,8$ % и равная координация движений обеих ног – у $2 \pm 0,1$ %. Асимметрия ног по этим признакам выражена у футболистов. У них точность удара правой ноги больше (по сравнению с левой) в 2,4 раза; эта разница уменьшается при утомлении. Согласно данным опроса тренеров, только 10,7 % игроков в одинаковой степени владеют приемами игры обеими ногами, 80,7 % владеют лучше правой и 8,6 % – левой ногой. В командах мастеров 70 % составляют правоногие футболисты, 15,5 % – равноногие и 14,5 % – левоногие.

Чем выше класс футболистов и чем жестче условия игры и ответственное соревнование, тем меньше спортсменов выполняют приемы «слабейшей» ногой; соотношение приемов, выполняемых ведущей и неведущей ногой, изменяется в сторону увеличения использования ведущей [40]. При этом увеличивается общая эффективность действий футболиста. Рост эффективности игры неведущей ногой сопровождается увеличением числа ее применений и ускорением темпа выполнения приемов. Рост эффективности игры неведущей ногой происходит за счет уменьшения числа ее применений и стабилизации относительно медленного темпа выполнения и стабилизации относительно медленного темпа выполнения ею движений в момент игры. Число «коронных» приемов в техническом арсенале игроков достоверно увеличивается; исполняются они ведущей ногой и в удобную сторону. Даже команды высокого класса пространство футбольного поля используют асимметрично: неведущей ногой футболисты предпочитают действовать на ее одноименной половине поля, правши — на левой, левши — на правой половине. Для «коронных» координатно сложных приемов выступает определенная пространственная закреплённость их выполнения. Освоение технических навыков управления мячом форсирует одноопорное пространственное приспособление, где каждая нога выполняет свою функцию, причем ту, в которой превосходит другую. Если ведущей ногой лучше манипулируют мячом, то на неведущей лучше стоят.

Ноги неравны в поддержании вертикальной позы, которое И.М. Козлов рассматривает как целенаправленную двигательную деятельность [28]. Описаны и другие проявления асимметрии ног, особо заметные у спортсменов. В произвольном вращении 90 % людей предпочитают левую сторону. При опросе 143 фигуристов оказалось, что 84 % из них выполняют вращения и прыжки в левую сторону; в эту же сторону выполняют упражнения во время занятий хореографической подготовкой; при выполнении прыжков на льду толчковой является обычно левая нога [45]. Результатом асимметричной тренировки во вращениях предполагается односторонняя устойчивость вестибулярного анализатора: она оказалась меньшей у фигуристов контрольной группы (2-го и 3-го года обучения), проявивших одностороннее приспособление к вращательной нагрузке.

После вращения в привычную сторону (в кресле Барани) двигательную задачу (бег на коньках) они выполняли быстро и точно. После вращения в непривычную сторону у них ухудшались быстрота и точность выполнения той же экспериментальной задачи.

С более активной работой правой руки при отталкивании связана большая сила сгибателей правого плеча фигуристов по сравнению с относительной силой левого плеча. Результат прыжка с места без взмаха рук с правой ноги в большинстве случаев выше, чем с левой ноги, а прирост результатов в прыжках с места с левой ноги со взмахом рук и свободной ноги в большинстве случаев выше, чем с правой ноги [40].

Ноги неравны по длине шага. Обычно ходьба, передвижение на лыжах и плавание с завязанными глазами невозможны по прямой линии уже в пределах 100 м, что И.М. Козлов объясняет присущей человеку асимметрией ног. Она отражается на особенностях ходьбы по необозначенной местности. Левонogie отклоняются вправо за счет большей длины шага левой ноги: кривая их движения приближается к кругу с направлением по ходу часовой стрелки. Правонogie отклоняются влево, направление их движения по кругу получается против часовой стрелки, что, по-видимому, сказалось в правилах соревнований по бегу (против часовой стрелки). Эту асимметрию объясняют и асимметрией глаз: правоглазый правша, направляясь к цели, отклоняется влево, так как «зрительная линия находится под преимущественным влиянием правого глаза», хотя Б.П. Никитюк не исключает роли «первичной разницы двигательной иннервации, а именно: импульс к раздражению правой стороны всегда сильнее, вероятно, вследствие врожденного предрасположения. Это объясняет то, что лица, заблудившиеся в темноте, благодаря круговому движению возвращаются к исходному пункту» [32]. В тенденции отклоняться в сторону при ходьбе, беге Ф.Б. Березин видит влияние сдвига «центра тяжести тела вправо, приходящегося на пользу левой конечности» [9].

У 30 % лиц, занимающихся спринтерским бегом, при опоре одной ногой сумма импульсов торможения и отталкивания оказалась положительной, а при опоре другой — отрицательной. Значит, спринтер в одном шаге разогнался, в другом — тормозился [19; 45].

Тело. Отмечены морфологические и функциональные асимметрии правой и левой половин тела человека. Окружность правой половины груди у 70 % людей больше левой; грудина чуть смещена влево; соски располагаются на разных уровнях. Положение правой половины тела в пространстве, ее соотношение с рукой, ногой и ее движения осознаются лучше, чем те же признаки левой половины. Это характерно, по-видимому, для большинства людей.

V. Ruggieri и соавт. (1989) выделили три варианта восприятия ширины и длины лица, длины плеча, туловища, руки и кисти, длины всего тела (у 41 студентки — правши с правой и левой асимметрией и симметрией глаз: 1 — индекс отклонения больше для левой половины тела; 2 — индекс отклонения больше для правой половины тела; 3 — нет разницы в восприятии левой и правой половин тела). Большой индекс отклонения на левую сторону сочетался с правым ведущим глазом.

Есть данные о различном участии правой и левой половин тела в общей двигательной активности человека. Особенно ярко это выступает у спортсменов при выполнении технико-тактических действий, специфичных для бокса, фехтования, тенниса и т. д.

Боксеры-левши завоевывают 30–40 % золотых медалей на крупных международных соревнованиях. Преимущества левшей в бою показаны при изучении двигательной асимметрии взрослых высококвалифицированных боксеров [42]. У них определяли: 1 — время латентного периода простой реакции и реакции выбора (предъявлялись световые сигналы — один или два); 2 — время выполнения удара; 3 — время соприкосновения кулака с целью (резкость удара); 4 — точность удара. Преимущество левшей оказалось не в скорости выполнения ударов каждой рукой в отдельности, а в суммарной быстроте реагирования. У них практически отсутствует разность движений правой и левой руки в условиях простого и сложного реагирования, тогда как у правшей эти показатели равны 32 и 7 мс. При нанесении прямых ударов в голову левши действуют более симметрично. «Вероятно, в силу специфической правосторонней стойки при встрече с правшой левша часто пользуется защитными движениями правой кистью, в результате чего получает большее развитие, нивелирующее ее отставание от сильнейшей левой руки. Правши

же в бою с правой для защиты чаще пользуются предплечьем и кистью правой руки, а в боях с левой — правым предплечьем и кистью правой руки». При всех видах защитных движений туловищем у боксеров-левшей оказалась меньшая скорость двигательной защитной реакции, чем у правшей. Время выполнения защиты уклонением, то есть при сгибании туловища, равно 270 мс у левшей и 230 мс — у правшей. Защита отклонением назад (разгибание туловища) равно соответственно 204 и 236 мс. Для защиты, подготовки атаки и контратаки левши реже, чем правши, применяют разнообразные способы защиты при помощи сгибания и разгибания туловища. Во всех движениях туловища — сгибании и разгибании — левши показывают худшую двигательную реакцию, чем правши. У левшей меньше, чем у правшей, и суммарная скорость простой двигательной реакции при движениях ног. Но в боях левшей чаще наблюдаются быстрые, мгновенные, «взрывные» передвижения. Этот парадокс объясняется компенсаторными механизмами, ярко проявляющимися у левшей. Компенсация достигается за счет своевременного принятия решения и выполнения ответной реакции.

Различна точность удара левшей и правшей. При нанесении прямого удара левой рукой отклонения от цели у левшей составляли 2,2 см и при ударе правой — 2,9 см, а у правшей те же показатели были равны соответственно 3,2 и 2,9 см. «Если боксеры-левши показали лучшие результаты, чем правши, в точности прямых ударов левой рукой, то при ударе правой в голову эти величины совпали. Левшам ведущая левая рука дала суммарное преимущество в точности прямых ударов в голову» [22].

В изложенных различиях выступает несходство правшей и левшей во всем двигательном поведении, психомоторных процессах.

3.4. Виды механической работы мышц

Как уже было отмечено, с точки зрения механики работа происходит тогда, когда сила действует на каком-либо пути, т. е. когда ею производится перемещение какой-либо массы. Следовательно, механическая работа мышцы имеет место лишь тогда, когда она может быть выражена как $A = Fs \cos \alpha$, или $A = Ph$. Однако с физиологиче-

ской точки зрения мышца производит работу и в том случае, когда она не сокращается, а лишь напрягается в процессе возбуждения. Биомеханика, имеющая дело с «живыми машинами», учитывает и анализирует различные виды мышечной работы. Из них только «преодолевающая работа» является работой в механическом смысле слова.

Различают два основных вида мышечной работы: работу статическую и работу динамическую.

Статика занимается изучением условий равновесия сил, но, кроме того, она занимается задачами *сложения сил*, т. е. заменами заданных систем сил более простыми эквивалентными системами, а также задачами *разложения сил*, т. е. заменами заданной силы эквивалентной системой сил. Все теории и методы, с помощью которых решаются эти задачи, основываются на нескольких теориях.

Всякая изолированная материальная точка находится в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока приложенные силы не выведут ее из этого состояния.

Состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения точки называют равновесием. Так как твердое тело есть неизменяемая система материальных точек, то рассмотренная теория справедлива и для него. Если точка или твердое тело под действием системы сил находится в равновесии, то такую систему сил называют уравновешенной (когда происходит деформация или медленное движение), то есть когда внутренние и внешние силы уравновешиваются, «тождественны», этот процесс называется статическим.

Две силы, приложенные к твердому телу, образуют уравновешенную систему тогда и только тогда, когда они равны по модулю и действуют вдоль одной прямой в противоположные стороны.

Теория принципа присоединения и исключения уравновешенных сил. *Действие данной системы сил на твердое тело не изменится, если к ней добавить или от нее отнять уравновешенную систему сил.*

Иначе говоря, если к данной системе сил присоединить уравновешенные силы или из данной системы сил их исключить, то вновь образованная система сил эквивалентна (тождественна) данной.

Силу, приложенную к твердому телу, можно переносить вдоль линии ее действия в любую другую точку; действие силы на тело при этом не нарушается.

Допустим, к твердому телу в точке A приложена сила F и требуется перенести эту силу в точку B , лежащую на линии действия силы. Приложим к телу в точке B вдоль линии действия силы F уравновешенные силы F и F_1 , численно равные силе F_2 . По третьей теореме механики действие силы F при этом не нарушается.

Согласно второй теореме механики силы F и F_1 уравновешивают друг друга, а по третьей аксиоме их можно исключить из получившейся системы сил. Оставшаяся сила F , приложенная в точке B , численно равна силе F ($F_1 = F_2$) и направлена вдоль той же прямой, т. е. векторы F и F_1 равны ($F = F_1$), а это равносильно тому, что сила F из точки A вдоль линии ее действия перенесена в точку B .

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать вывод: *сила, приложенная к твердому телу, является скользящим вектором.*

Необходимо заметить, что это свойство вектора силы справедливо только в теоретической механике (механике абсолютно твердого тела). Допустим, к телу AB приложены две численно равные силы F_1 и F_2 . Если силу F_1 перенести вдоль линии ее действия из точки A в точку B , а силу F_2 — из точки B в точку A , то с точки зрения теоретической механики действие силы на тело не изменилось.

При статической работе активно напряженные мышцы уравновешивают действие сил, стремящихся изменить положение тела или его частей. При этом мышцы длительно и постоянно напряжены, но не изменяют своей длины (т. е. не сокращаются и не растягиваются). Напряжение поддерживается благодаря непрерывному притоку нервных импульсов. При помощи статической работы, совершаемой против силы тяжести (в некоторых случаях против других сил), сохраняется определенное положение тела в пространстве, например, вертикальное, а также определенное расположение частей тела, или позу нельзя сохранить без статической работы мышц. Это объясняется тем, что линии тяжести отдельных частей тела обычно не проходят через центры опорных суставов, в результате чего возникает вращающий момент силы тяжести относительно оси сустава. Для сохранения данного положения части тела вращающий момент силы тяжести должен быть уравновешен таким же по величине, но обратным по знаку вращающим моментом силы тяги мышц. При помощи статической работы производится также удержание раз-

личных грузов (например, штанги) и противодействие мышечной силе другого человека (некоторые положения при борьбе) и т. п.

По Д.Д. Донскому, следует различать три разновидности статической работы. При первой из них — *удерживающей* работе — мышцы действуют своим моментом тяги против момента силы тяжести (рычаг). При второй — *укрепляющей* работе — мышцы, напрягаясь, сопротивляются разрыву, который мог бы произойти под влиянием внешней силы. Наконец, при третьей разновидности — *фиксирующей* работе — мышцы производят напряжения против действия мышц-антагонистов, чем достигается фиксация суставов.

Статическая работа — понятие не механическое, а физиологическое. Статическая работа характеризуется затратой энергии при напряжении мышц для уравнивания момента силы тяжести или какого-либо сопротивления. По величине статическая работа может быть определена силой и длительностью напряжения мышц.

Мышцы могут выполнять статическую работу, находясь в укороченном, нормальном или растянутом состоянии. Это обуславливается положением, позой человека и действием внешних сил. Более выгодные условия для статической работы имеются при растянутом состоянии работающих мышц.

В основе статической работы мышц при сохранении привычных положений и поз человека лежат тонические рефлексy, или рефлексy позы. Эти рефлексy связаны с возбуждением проприорецепторов мышц и сухожилий шеи, отолитового аппарата, сетчатки глаза и осязательной чувствительности.

При динамической работе моменты активных мышечных сил и моменты внешних механических сил, действующих на организм человека, не уравнивают друг друга, в результате чего происходит движение. Мы уже видели, что в том случае, когда момент мышечной силы больше момента противодействующих сил, происходит сокращение мышцы. Мышца при этом производит «преодолевающую работу», перемещая груз и части тела.

Весьма эффективной формой динамической преодолевающей работы является *баллистическая работа*, характерная для метания и многих других спортивных упражнений. Свое название эта разновидность получила от греческого слова «ballo» — бросаю. Для балли-

стической работы мышц характерны следующие три особенности: 1) мышца перед работой растягивается; 2) из растянутого состояния мышца резко сокращается; 3) после резкого сокращения мышца выключается из работы раньше конца движения (движение продолжается по инерции). Примерами баллистической работы являются метание с предварительным замахом, маховые упражнения на гимнастических снарядах и др.

В том случае, когда момент мышечной силы меньше момента противодействующих сил, происходит растягивание (удлинение) мышцы. При этом механическую работу производят внешние, деформирующие силы, преодолевая напряжение мышцы на пути, равном ее удлинению. Если растягиванию подвергается не покоящаяся мышца, а мышца возбужденная, т. е. если деформирующим силам противодействуют не только пассивные силы упругости, но и активные силы напряжения, то мышца при растягивании также производит работу – «уступающую работу», которая пропорциональна величине активного напряжения и времени его поддержания. Уступающая работа играет важную роль в регулировании движений, выполняемых под влиянием других сил. Специальные опыты показали, что при опускании груза человек расходует 50 % энергии, необходимой при поднятии того же груза на ту же высоту. Основные виды мышечной работы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные виды мышечной работы

Название	Назначение	Характерные особенности	Механические условия (соотношения моментов сил)
Статическая – уравнивающая, фиксирующая	Для сохранения положения, позы тела, уравнивания противодействующих сил	Мышцы постоянно напряжены и не изменяют своей длины	Момент мышечной силы равен моменту противодействующей силы; мышечная сила уравнивает противодействующую

Название	Назначение	Характерные особенности	Механические условия (соотношения моментов сил)
Динамическая	Для совершения активного движения	Мышцы работают, сокращаясь	Момент мышечной силы больше момента противодействия
Преодолевающая – баллистическая (разновидность преодолевающей)	Для совершения быстрого активного движения	Мышцы работают, резко сокращаясь из предварительно растянутого состояния и выключаются из работы раньше конца движения	Момент мышечной силы значительно больше момента противодействующей силы; мышечная сила быстро преодолевает сопротивление
Уступающая	Для регулирования движения, совершаемого под влиянием других сил	Мышцы работают, растягиваясь под влиянием других сил	Момент мышечной силы меньше момента противодействующей силы; мышечная сила уступает противодействующей

Различные по характеру формы мышечной работы не являются закрепленными за какими-нибудь определенными мышцами. Напротив, в зависимости от характера движения работа мышц может существенно изменяться. Так, при выполнении многих физических упражнений во всех фазах движения работают преимущественно одни и те же мышцы, изменяется лишь характер их работы: преодолевающая, статическая работа сменяют друг друга. Приведем примеры:

1. При отведении руки до горизонтального положения в плечевом суставе в основном происходит преодолевающая работа дельтовидной и надостной мышц. Для удерживания руки в положении отведения работают главным образом те же отводящие мышцы, но статически. Если руки опустить в исходное положение, то движение будет происходить под влиянием силы тяжести: при этом отводящие мышцы будут работать уступающе, растягиваясь, регулируя плавное опускание руки. Таким образом, во всех фазах этого движения руки

в плечевом суставе работают преимущественно отводящие мышцы, но характер их работы изменяется.

2. При переходе из основной стойки в положение приседа ноги сгибаются во всех суставах под действием силы тяжести, а работают уступающе мышцы-антагонисты. В положении неполного приседа те же группы мышц работают статически. Возвращение в основную стойку из положения приседа происходит за счет преодолевающей работы тех же мышц. При приседаниях в разных фазах движения мышцы, разгибающие ногу в основных суставах, работают то уступающе, то статически, то преодолевающе.

Мышцы, обслуживающие сустав, могут выполнять тройкого рода работу: 1) производить активное движение, преодолевая сопротивление, т. е. производить динамическую преодолевающую работу; 2) активно регулировать движение, содействуя плавному переходу одной фазы движения в другую, т. е. производить динамическую уступающую работу; 3) активно напрягаясь, уравновешивать противодействующие силы, т. е. работать статически. При изменении характера движения деятельность мышц, обслуживающих данный сустав, изменяется. Например, при смене активного сгибательного движения на активное разгибательное одновременно происходит и смена динамического преодолевающего режима работы мышц — вместо мышц-сгибателей начинают сокращаться разгибатели. При смене активного сгибательного движения на пассивное разгибательное движение характер работы мышц также изменяется — мышцы-сгибатели вместо преодолевающей работы начинают выполнять уступающую работу. При необходимости закрепить сустав неподвижно обе группы мышц — сгибатели и разгибатели — напрягаются одновременно: бывшие антагонисты работают теперь как синергисты, обеспечивая фиксацию сустава.

Согласование, или координация, работы мышц, обслуживающих отдельные суставы и кинематические цепи, производится центральной нервной системой. Например, прямые связи в теле человека — это сигналы, идущие от центральной нервной системы к периферическим органам (эфферентная импульсация), а обратные связи — сигналы, идущие от периферических рецепторов в центральную нервную систему (афферентная импульсация).

Следует добавить, что практически невозможна совершенно точная дозировка величины тяги каждой мышцы, быстроты нарастания тяги, времени «включения» мышцы. Поэтому всегда в той или иной степени возникают рассогласования тяг мышц, что является одной из главных внутренних помех в управления движениями. Научиться преодолевать рассогласования тяг мышц очень непросто. Это одна из главных задач при овладении движениями, путь к наибольшей экономичности и точности движений.

Контрольные вопросы

1. Какими критериями характеризуется геометрия масс тела?
2. Какие критерии геометрии масс нужно знать, чтобы вычислить наиболее экономичный темп ходьбы? Насколько точным будет этот расчет?
3. Приведите уравнение мышечного сокращения по Хиллу.
4. Что означает выражение «доминантная рука» или «доминантная сторона»?
5. Раскройте понятие «амбидекстр».

Задания для самоконтроля и закрепления знаний

1. Выполните анализ кинематолограммы бега (а именно временных характеристик) расчетно-аналитическим методом:

- а) анализ скорости отдельных звеньев тела;
- б) анализ ускорения отдельных звеньев тела.

Сделайте выводы по работе.

Инвентарь: миллиметровая бумага, карандаш, транспортир.

2. Для нескольких видов двигательной деятельности подробно расскажите о том, какое конкретное содержание заключено в терминах «внутренняя работа», «работа в продольном направлении» и «работа в поперечном направлении». Например, у бегуна:

- внутренняя работа обеспечивает перемещение ног и рук относительно общего центра масс;
- работа в поперечном направлении приводит к перемещению тела вверх – вниз и влево – вправо;
- работа в продольном направлении выполняется против силы сопротивления воздуха и против сил инерции ускоряемых и тормозимых звеньев тела.

Глава 4. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

4.1. Основные понятия кинематики

Кинематика движений человека определяет геометрию (пространственную форму) движений и их изменения во времени без учета масс и действующих сил. Она дает в целом только внешнюю картину движений. Причины же их возникновения и изменения (механизм) раскрывает динамика.

Раздел механики, занимающийся изучением движения материальных тел без учета их масс и действующих на них сил, называется кинематикой.

Кинематические характеристики тела человека и его движений — это меры положения и движения человека в пространстве и во времени: пространственные, временные и пространственно-временные.

Кинематические характеристики дают возможность сравнивать размеры тела и его звеньев, а также кинематические особенности движений у разных спортсменов. От учета этих характеристик во многом зависит индивидуализация техники спортсменов, поиск оптимальных именно для них особенностей движений.

Изучая и классифицируя движение тел, кинематика может ответить на вопросы, как и куда движется тело и где оно может оказаться в определенный момент времени. Все тела и явления существуют в пространстве и времени. Всякое явление происходит в определенном месте и в определенное время. Как известно, в природе нет абсолютного покоя: движение — основная форма существования всего материального мира, покой и равновесия — частные случаи движения. Вокруг себя мы постоянно наблюдаем движущиеся тела: мимо нас проходят люди, проезжают автомобили, над нами пролетают самолеты, птицы... Сами мы живем на Земле, которая вращается вокруг собственной оси, движется вокруг Солнца и т. д. Но движение одного и того же тела (спортсмена и т. д.) различными людьми часто воспринимается не одинаково, а в зависимости от выбранного места наблюдения. Если, например, один из тренеров наблюдает за движением спортсмена или снаряда стоя, а второй видит его сидя или сбоку, то их выводы могут не совпадать. Чтобы результаты

наблюдений за движением были сравнимыми, необходимо договориться о месте, откуда ведется наблюдение, т. е. о системе отсчета.

Система отсчета расстояний — это условно выбранное твердое тело, по отношению к которому определяют положение других тел в разные моменты времени.

Для нас, обитателей Земли, естественной системой отсчета является Земля. Мы рассматриваем движение тел относительно Земли, считая ее условно неподвижной, или, что одно и то же, относительно тел (снарядов), неподвижно связанных с Землей.

Механическое движение есть изменение положения данного тела по отношению к другим телам или изменение взаимного положения отдельных частиц одного и того же тела с течением времени. Движение всегда относительно по отношению к другим движущимся телам. Оно описывается как изменение положения моделирующей механической системы по отношению к фиксированной системе координат. Если известен закон движения любой материальной точки механической системы, то известно также и движение всей системы.

Всякое движение, и механическое в том числе, происходит в пространстве и во времени, т. е. сколь угодно незначительное перемещение тела связано с изменением его положения относительно других тел и происходит не мгновенно, а в течение некоторого промежутка времени, хотя бы и очень малого.

Биомеханические характеристики — это меры механического состояния биосистемы и его изменения (поведения).

Все тела состоят из материальных точек, и, чтобы получить правильное представление о движении тел, начинать изучение нужно с движения точки. Перемещение точки в пространстве выражается в метрах, а также в дольных (см, мм) или кратных (км) единицах длины, время — в секундах. В практике или жизненных ситуациях время часто выражают в минутах или часах. Отсчет времени при рассмотрении того или иного движения точки ведут от определенного, заранее обусловленного, начального момента ($T_0 = 0$).

Геометрическое место положений движущейся точки в рассматриваемой системе отсчета называется *траекторией*. По виду траектории движение точки делится на *прямолинейное* и *криволинейное* (в спорте существует только криволинейное). Траектория точки

может быть определена и задана заранее. Так, например, траектории снарядов вычисляют заранее или, если принять движущихся по полю футболистов за материальные точки, то их траектории также известны. В подобных случаях положение точки в каждый данный момент времени t определяется расстоянием (дуговой координатой) S , т. е. длиной участка траектории, отсчитанной от некоторой ее неподвижной точки, принятой за начало отсчета. Отсчет расстояний от начала траектории можно вести в обе стороны, поэтому отсчет в одну какую-либо сторону условно принимают за положительный, а в противоположную — за отрицательный, т. е. расстояние S — величина алгебраическая, она может быть положительной ($S > 0$) или отрицательной ($S < 0$).

При движении точка за определенный промежуток времени проходит некоторый путь L , который измеряется вдоль траектории в направлении движения. При движении точки из любого начального положения путь может только возрастать; следовательно, путь — величина существенно положительная.

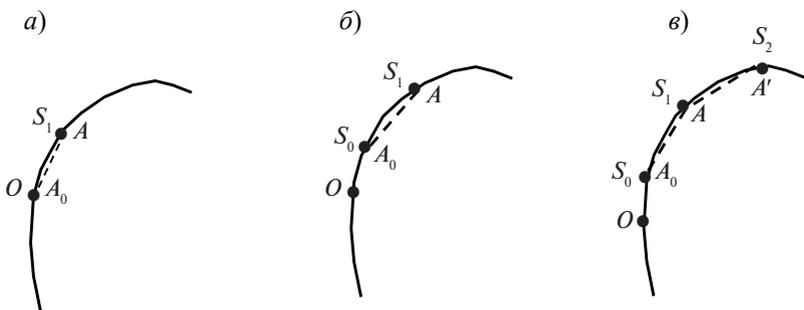


Рис. 10. Движение точки

В частном случае, если точка (рис. 10, *a*), двигаясь из начала отсчета O в одном направлении, через некоторое время оказалась в положении A , то расстояние S_1 и пройденный точкой путь $L = OA$ численно совпадают: $S_1 = L$. Если точка стала двигаться не из начала отсчета O , а из положения, находящегося на начальном расстоянии S_0 (рис. 10, *б*), и через некоторое время оказалась в положении A на расстоянии S_1 от начала отсчета, то пройденный точкой путь $L = A_0A = S_1 - S_0$, т. е. разности между конечным и начальным рас-

стояниями. Но это утверждение справедливо лишь в том случае, когда точка движется по траектории в одну сторону. Если же точка, начав движение из положения A_0 на расстоянии S_0 от точки O , за некоторое время прошла до положения A' , находящегося на расстоянии S_2 , а затем вернулась в положение A (рис. 10, в) и оказалась в конечном счете на расстоянии S_1 от начала O , то пройденный путь $L = A_0A + A'A = (S_2 - S_0) + (S_2 - S_1) = 2S_2 - S_1 - S_0$.

Векторная величина, характеризующая в каждый данный момент времени направление и быстроту движения точки, называется скоростью.

В обыденной жизни понятие «скорость» воспринимается как скалярная величина, и поэтому термины «скорость» и «быстрота» считаются синонимами. Как кинематическое понятие скорость — это вектор, т. е. и быстрота, и направление. Быстроту движения точки выражает числовое значение (модуль) вектора. За единицу скорости обычно принимается 1 м/с, но часто скорость выражают в км/ч ($1 \text{ м/мин} = 10^3 \text{ м}/3600 \text{ с} \approx 0,278 \text{ м/с}$) или в м/мин ($1 \text{ м/мин} = 1 \text{ м}/60 \approx 0,0167 \text{ м/с}$).

Скорость точки в любой момент ее движения направлена по касательной к траектории. Это известное из физики утверждение вытекает из следующих рассуждений. Допустим, что точка, двигаясь по криволинейной траектории, в заданный момент времени занимает положение A , а через некоторый промежуток времени Δt оказалась в положении A_1 (рис. 11). Тогда вектор $\overrightarrow{AA_1}$ изображает перемещение точки из положения A в положение A_1 . Разделив вектор перемещения точки на Δt , получим вектор средней скорости, направленный вдоль вектора перемещения в ту же сторону.

Отметим, что векторное равенство характеризует лишь положение V_{cp} , а модуль средней скорости за время Δt :

$$V_{\text{cp}} = \overrightarrow{AA_1}/\Delta t,$$

где $\overrightarrow{AA_1} = L$ — путь, пройденный точкой за время Δt .

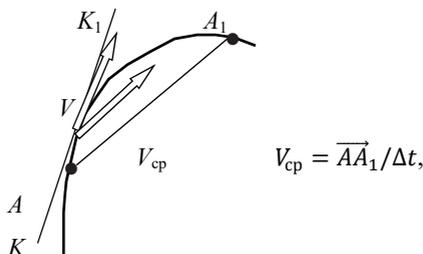


Рис. 11. Векторное равенство

Таким образом, числовое значение (модуль) средней скорости равно частному от деления пройденного пути на время, в течение которого этот путь пройден:

$$V_{\text{cp}} = S/T.$$

При постепенном уменьшении промежутка времени Δt второе положение точки A_1 приближается к A и по мере сближения A_1 с A вектор \vec{V}_{cp} , изменяясь, приближается как к пределу к вектору \vec{V} (рис. 11), направленному вдоль касательной KK_1 к траектории в точке A . Следовательно, скорость точки в данный момент:

$$V = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} V_{\text{cp}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \overline{AA_1} / \Delta t.$$

При движении точки по криволинейной траектории непрерывно изменяется как направление, так и числовое значение (модуль) скорости.

Векторная величина, характеризующая быстроту изменения направления и числового значения скорости, называется ускорением.

Обратим внимание на некоторые особенности изменения вектора ускорения. Допустим, что точка A движется по криволинейной траектории, и для простоты представим, что на некотором участке радиус R кривизны траектории остается неизменным (точка движется по дуге окружности). Пусть в момент времени t_1 точка занимает положение A_1 и ее скорость V_1 , а через $\Delta t = t_2 - t_1$ в положении A_2 скорость точки будет V_2 . За это время направление скорости изменилось на угол f (угол смежности), а модуль скорости изменился на $V_2 - V_1$. Вычитанием вектора \vec{V}_1 из \vec{V}_2 определим геометрическое (векторное) изменение скорости $\Delta \vec{V} = \vec{V}_2 - \vec{V}_1$ за время Δt . Разделив вектор изменения скорости $\Delta \vec{V}$ на Δt , получим вектор среднего ускорения:

$$\vec{a}_{\text{cp}} = \Delta\vec{V}/\Delta t,$$

который характеризует за время Δt как среднюю быстроту изменения направления скорости, так и среднюю быстроту изменения скорости по модулю.

Вектор среднего ускорения направлен параллельно вектору изменения скорости и образует с касательной к траектории некоторый угол α . Легко заметить, что вектор среднего ускорения при прочих равных условиях зависит от кривизны траектории. Увеличив кривизну участка A_1A_2 траектории, оставив неизменными время Δt передвижения точки из A_1 в A_2 и модули скорости в этих положениях ($V'_1 = V_1$ и $V'_2 = V_2$), увидим, что направление скорости за тот же промежуток времени Δt изменилось на больший угол f'_1 , чем прежде ($f'_1 > f$); изменился и вектор $\Delta\vec{V}'$, а следовательно, изменился и вектор среднего ускорения $\vec{a}'_{\text{cp}} = \Delta\vec{V}'/\Delta t$.

При *равномерном* движении по криволинейной траектории точка тоже *имеет ускорение*, так как и в этом случае изменяется направление скорости.

За единицу ускорения принимают обычно 1 м/с^2 .

4.2. Способы задания движения точки

Прежде чем начать изучение и классификацию движения точки, необходимо ознакомиться со способами задания ее положения по отношению к выбранной системе отсчета в любой момент времени, т. е. *со способами задания ее движения*. Из применяемых в механике способов задания движения точки рассмотрим два: естественный и координатный.

Естественный способ задания движения точки. В предыдущем параграфе мы установили, что положение точки на заданной траектории в любой момент времени однозначно определяется расстоянием (дуговой координатой) S . Значит, если кроме траектории, на которой отмечено начало отсчета O , задана зависимость $S = f(t)$ между расстоянием S и временем t , то в любой момент времени можно точно определить положение точки на траектории. Уравнение называется *законом движения точки по заданной траектории*.

Пусть, например, задана некоторая траектория, движение точки по которой определяется уравнением $S = 0,5t_2$ (S — м, t — с). Тогда в момент времени $t_0 = 0$ $S_0 = 0$, т. е. точка находится в начале отсчета O ; в момент времени $t_1 = 1$ с точка находится на расстоянии $S_1 = 0,5t_1^2 = 0,5 \cdot 1^2 = 0,5$ м; в момент времени $t_2 = 2$ с точка находится на расстоянии $S_2 = 0,5t_2^2 = 0,5 \cdot 2^2 = 2$ м от начала отсчета O (рис. 12).

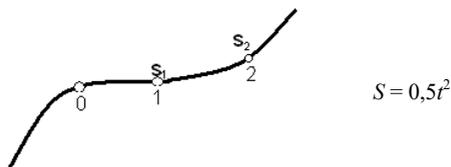


Рис. 12. Естественный способ задания движения точки

Координатный способ. Когда траектория точки заранее неизвестна, положение точки в пространстве определяется тремя координатами: абсциссой X , ординатой Y и аппликатой Z по отношению к прямоугольной (декартовой) системе координат $Oxyz$ (рис. 13, а). Если при этом известна или задана система уравнений, выражающих зависимость изменения координат с течением времени t :

$$X = f_1(t); Y = f_2(t); Z = f_3(t),$$

то, подставляя в эти уравнения значения t , можно определять положение точки в пространстве. Эти уравнения выражают *закон движения точки в прямоугольной системе координат*.

В частном случае, если точка движется в плоскости, *закон движения точки выражается двумя уравнениями*:

$$X = f_1(t); Y = f_2(t).$$

Например, известно, что движение точки в плоской системе координат (рис. 13, б) задано уравнениями $X = 2t$ и $Y = 3t$ (X и Y — см, t — с). Тогда в момент времени $t_0 = 0$ координаты точки $X_0 = 0$ и $Y_0 = 0$, т. е. точка находится в начале системы координат. В момент времени $t_1 = 1$ с координаты точки $X_1 = 2t_1 = 2 \cdot 1 = 2$ см; $Y_1 = 3t_1 = 3 \cdot 1 = 3$ см. В момент времени $t_2 = 2$ с координаты точки $X_2 = 2t_2 = 2 \cdot 2 = 4$ см, $Y_2 = 3t_2 = 3 \cdot 2 = 6$ см и т. д.

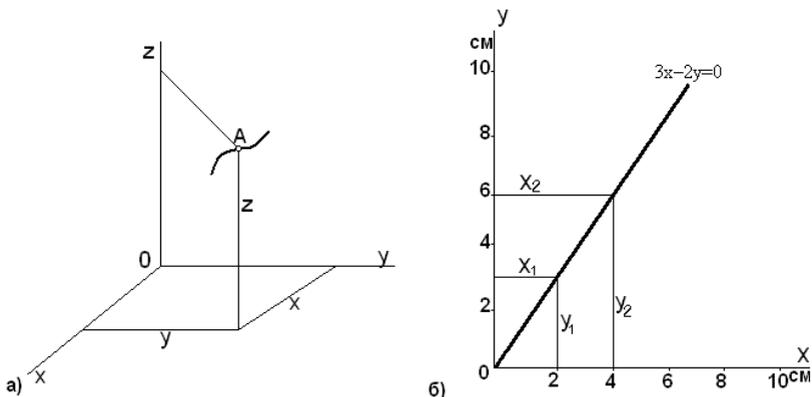


Рис. 13. Координатный способ задания движения точки

Зная закон движения точки в прямоугольной системе координат, можно определить уравнение траектории точки. Для этого нужно из уравнений движения исключить t . Так, получим уравнение траектории

$$\Phi(X, Y, Z) = 0,$$

а после исключения времени t из уравнений уравнение траектории примет вид

$$\Phi(X, Y) = 0.$$

Например, исключив время t из заданных выше уравнений $X = 2t$ и $Y = 3t$, получим уравнение траектории $3x - 2y = 0$. Как видим, в этом случае точка движется по прямой, проходящей через начало координат.

4.3. Определение скорости точки при естественном способе задания ее движения

Материальной точкой называется такое тело, для которого в зависимости от цели исследования можно пренебречь размерами и формой, т. е. тело, которое, обладая массой, не имеет размеров. Движение материальной точки представляет собой простейший пример механического движения. В природе нет материальных точек. Модель материальной точки есть только идеализация, абстракция, которая используется для исследования существенных свойств

реального объекта, которые нужно учитывать для выполнения поставленной задачи и для использования разработанной теории механики точки.

Пренебрежение размерами тела в ряде случаев не оказывает влияния на характер исследуемого движения и упрощает решение задачи.

При движении точки по криволинейной траектории ее скорость в каждый данный момент времени направлена по касательной к траектории. Установлено, что числовое значение средней скорости за любой промежуток времени Δt равно частному от деления пройденного пути на время Δt . Рассмотрим теперь, как определяется значение скорости в любой момент времени.

Пусть движение точки A по заданной траектории происходит согласно уравнению $S = f(t)$ и требуется определить скорость точки в момент времени t . Подставив значение времени t в уравнение движения, определим в этот момент расстояние до точки A от начала отсчета. Продолжая движение, точка в момент времени $t + \Delta t$ займет положение A_1 на расстоянии S_1 от начала отсчета O . Таким образом, за промежуток времени Δt точка прошла путь $L = \Delta S = S_1 - S$. Значение средней скорости на этом пути

$$V_{\text{cp}} = \Delta S / \Delta t,$$

но оно отличается от значения скорости в момент времени t .

Если постепенно уменьшать промежуток времени t , то уменьшается и пройденный путь ΔS , т. е. в пределе при $\Delta t \rightarrow 0$ значение средней скорости приближается к значению скорости в заданный момент t .

Значит,

$$V = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta S / \Delta t = dS / dt = f'(t),$$

т. е. значение скорости точки, движение которой задано естественным способом, в любой момент времени равно первой производной от расстояния (дуговой координаты) по времени.

Направление скорости, как отмечалось выше, известно заранее.

Пример. По дуге, равной четверти длины окружности радиуса $R = 16$ м, из положения A_0 в положение A_1 движется ядро согласно уравнению $l = \pi t^2$. Определить скорость точки в момент, когда

она проходит середину длины дуги A_0A_1 , и в момент достижения положения A_1 .

Решение

1. Если длина дуги A_0A_1 равна четверти длины окружности, то середина дуги (точка A), ядро, находится от начала отсчета A_0 на расстоянии одной восьмой окружности, т. е.

$$l = A_0A = 2\pi r/8 = 2\pi 16/8 = 4\pi \text{ м.}$$

2. Из заданного уравнения движения $l = \pi t^2$ находим, что ядро после начала движения достигает середины дуги через промежуток времени

$$t = l/\pi = 4\pi/\pi = 2 \text{ с.}$$

3. Продифференцировав уравнение движения, найдем уравнение скорости:

$$V = dl/dt = (\pi t^2)' = 2\pi t.$$

4. Подставив значение $t = 2$ с в уравнение скорости, найдем

$$V = 2\pi t = 2\pi 2 = 4\pi \approx 12,6 \text{ м/с.}$$

5. Проведем в точке A (середине дуги A_0A_1) касательную к траектории и изобразим вектор скорости V .

Скорость ядра в конце траектории (в положении A_1) рекомендуется найти самостоятельно.

4.4. Поступательное движение

В кинематике, как и в статике, рассматривают абсолютно твердые тела, считая расстояния между двумя точками тела неизменными. Задачи кинематики твердого тела состоят, во-первых, в задании движения и, во-вторых, в изучении кинематических характеристик движения как всего тела в целом, так и каждой из точек тела в отдельности.

Наиболее простое движение твердого тела — поступательное. *Поступательным движением твердого тела называется такое движение, при котором всякая прямая, неизменно связанная с этим телом, движется, оставаясь параллельной самой себе.* Поступательное движение не следует смешивать с прямолинейным. При поступательном движении тела траектории его точек могут быть любыми кривыми линиями.

Рассмотрим примеры поступательных движений.

1. Если тело перемещается по горизонтальной поверхности вдоль прямой из положения 1 в положение 2, то траекториями всех его точек будут прямые линии, а следовательно, прямая, проведенная через точки a и b , будет перемещаться параллельно самой себе (рис. 14, a).

2. На рис. 14, b показан механизм, называемый спарником. Тело AB при вращении кривошипов O_1A и O_2B ($O_1A = O_2B$) движется поступательно, так как любая прямая, проведенная в этом теле, будет оставаться параллельной самой себе. Все точки AB движутся по окружностям.

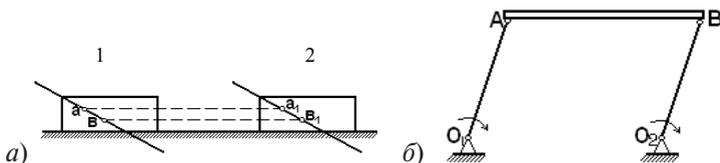


Рис. 14. a – траектория перемещения тела; b – механизм-спарник

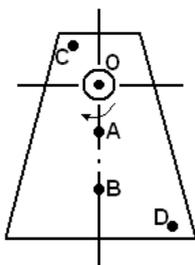


Рис. 15. Движение пластины

Термин «поступательное движение» применим только к движению тела и не применим к движению точки. Из определения поступательного движения вытекает следующее положение. *При поступательном движении твердого тела все его точки движутся по одинаковым и параллельно расположенным траекториям и имеют в каждый данный момент времени равные скорости и равные ускорения.* Поэтому можно сказать, что *поступательное движение тела вполне определяется движением какой-либо одной точки.*

Следовательно, задача изучения поступательного движения твердого тела сводится к изучению движения точки, т. е. к тем задачам кинематики точки, которые уже были рассмотрены.

Необходимо заметить, что говорить о скорости и ускорении тела (зная скорость и ускорение одной точки) можно только в том случае, если движение этого тела поступательно. При всех других типах движения тела этого делать нельзя, ибо различные точки тела имеют различные скорости и ускорения. Например, на рис. 15 показано движение пластины, которая вращается вокруг точки O . Точки A , B , C и D имеют различные скорости и ускорения.

4.5. Основное уравнение динамики вращающегося тела

Пусть твердое тело под действием внешних сил F_{ek} вращается вокруг оси O_z с угловым ускорением ε . Алгебраическая сумма моментов всех сил (активных сил и сил сопротивления) относительно оси O_z называется *вращающим моментом*:

$$M_{ez} = \sum M_z(F_{ek}).$$

Найдем зависимость между ускорением ε тела и действующим на него вращающим моментом M_{ez} .

Вращательным движением называется такое движение твердого тела, при котором какие-либо две его точки остаются все время неподвижными.

На рис. 16 показано тело, совершающее вращательное движение. Прямая AB , проходящая через неподвижные точки A и B , называется *осью вращения*. Все точки, принадлежащие оси вращения, будут неподвижны. Все остальные точки тела будут описывать окружности, плоскости которых перпендикулярны оси вращения, а центры лежат на этой оси.

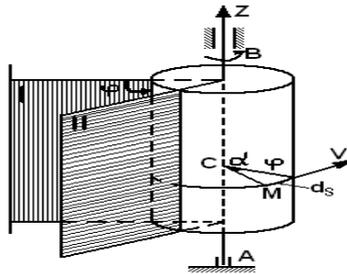


Рис. 16. Вращающееся тело

Рассматривая твердое тело как механическую систему, разобьем его на множество материальных точек с массами Δm_k . При вращении тела каждая из этих точек движется по окружности радиуса R_k с ускорением a_k , которое разложим на касательное a_{kt} и нормальное a_{kn} ускорения.

Приложим к каждой материальной точке элементарные силы инерции: касательную $\Delta F_{инкт} = -\Delta m a_{kt}$ и нормальную $\Delta F_{инкн} = -\Delta m a_{kn}$. Согласно принципу Даламбера, активные силы, силы реакции связей и силы инерции образуют уравновешенную систему. Поэтому алгебраическая сумма моментов всех этих сил относительно оси O_z должна быть равна нулю, т. е.

$$M_{ez} - \sum F_{kt} R_k = 0.$$

Моменты сил $\Delta F_{инкп}$ относительно оси O_z равны нулю, так как линии действия этих сил пересекают ось.

У любой точки вращающегося тела числовое значение касательного ускорения $a_{kt} = \varepsilon R_k$, поэтому значение $\Delta F_{инкт} = \Delta m_k a_{kt} = \Delta m_k \varepsilon R_k$, где ε — угловое ускорение тела. Подставив полученное значение $\Delta F_{инкт}$ в предыдущее уравнение и вынеся за знак суммы постоянную величину ε , получим

$$M_{ez} = \varepsilon \sum m_k R_k^2 m_k R_k^2.$$

Величина $\sum \Delta m_k R_k^2 = J_z$, равная сумме произведений масс всех точек тела на квадраты их расстояний от оси вращения, называется *моментом инерции тела (системы) относительно этой оси*.

Введя в последнее равенство принятое обозначение, получим *основное уравнение динамики вращающегося тела*, выражающее прямо пропорциональную зависимость между действующим на тело вращающим моментом и полученным вследствие этого угловым ускорением:

$$M_{ez} = J_z \varepsilon.$$

Момент инерции J_z в этом уравнении играет ту же роль, что и масса в уравнении $F = ma$, и выражает меру инертности тела при вращательном движении.

Изменение вращательного движения системы тел без приложения внешней силы можно объяснить также, основываясь на законе сохранения кинетического момента. (Если сумма моментов внешних сил, приложенных к телу, равна нулю, то кинетический момент

сохраняется неизменным.) Приближая части системы тел (тело гимнаста) внутренними силами (тяги мышц) к оси вращения, можно уменьшить радиус инерции, а значит, и момент инерции. Если в это время никакие внешние силы не изменяют кинетического момента ($I\omega$), например, в движении без опоры, то во сколько раз уменьшится момент инерции (I), во столько же раз увеличится угловая скорость (ω).

Итак, вращательное движение системы тел может быть изменено как внешними, так и внутренними силами.

Из выражения $J_z = \sum R_k^2 dm_k$, которому можно придать и интегральную форму:

$$J_z = \int m_k R_k^2,$$

видно, что в СИ момент инерции тела выражается в $\text{кг} \cdot \text{м}^2$. При решении задач в механике обычно применяют дольные единицы: $1 \text{ кг} \cdot \text{см}^2 = 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ или $1 \text{ кг} \cdot \text{мм}^2 = 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Изменение вращения системы звеньев возможно под действием импульсов моментов как внешних сил, так и внутренних, вызывающих радиальное движение.

Напомним, что наряду с градусным измерением углов в механике применяют радианное измерение. Величина угла α — центрального для произвольной окружности — измеряется отношением длины дуги l , на которую этот угол опирается, к длине радиуса r этой окружности: $\alpha = l/r$. При этом за единицу измерения принимается радиан — угол, являющийся центральным для дуги, длина которой равна радиусу окружности. 1 радиан равен $180/\pi = 57^\circ 17' 44''$. $1^\circ = 0,01745$ радиана. Переход одного измерения к другому производится по формулам:

$$\alpha^\circ = (180/\pi) \cdot \alpha \text{ (радианов)}; \alpha \text{ (радианов)} = \pi/180 \alpha^\circ.$$

В частности, $360^\circ = 2\pi$ рад; $180^\circ = \pi$ рад; $90^\circ = \pi/2$ рад.

Чтобы знать положение тела в любой момент времени, надо знать зависимость угла f от времени t :

$$f = f(t).$$

Данное уравнение выражает закон вращательного движения тела и называется уравнением вращательного движения тела.

4.6. 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.

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

4.6.1. Момент времени

Момент времени – это временная мера положения точки тела и системы. Момент времени (t) определяют промежутком времени до него от начала отсчета: $(t) = T$.

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.

4.6.2. Длительность движения

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

$$\Delta t = t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}; \quad (\Delta t) = T.$$

Длительность движения представляет собой промежуток времени 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 расстояние, пройденное точкой, и длительность ее движения, можно определить ее скорость. Зная длительность движений, определяют также их темп и ритм (ритмо-темповую структуру).

4.6.3. Темп движений

В повторных движениях одинаковой длительности темп характеризует их протекание во времени.

Темп движений — это временная мера их повторности. Он измеряется количеством движений, повторяющихся в единицу времени (частота движений):

$$N = 1/\Delta t; (N) = T^{-1}.$$

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. Например, частота движений у лыжников, пловцов, гребцов высокой квалификации (при более высокой скорости передвижения) больше, чем у менее подготовленных. Известно, что с утомлением темп движений изменяется: он может повышаться (например, при ускорении шагов в беге) или понижаться (при неспособности поддерживать его в лыжном ходе).

4.6.4. Ритм движений

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

$$\Delta t_{12} : \Delta t_{23} : \Delta t_{34} \dots^2.$$

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

Чтобы определить ритм (временной), выделяют фазы, которые различаются по задаче движения, по его направлению, скорости, ускорению и другим характеристикам. Ритм отражает прилагаемые усилия, зависит от их величины, времени приложения и других особенностей движений. Поэтому по ритму движений можно в известной мере судить об их совершенстве.

Контрольные вопросы

1. Как оценивается эффективность двигательной деятельности в сложнокоординационных видах спорта?
2. Что такое эстетический идеал? Как и почему он менялся в истории человечества?
3. Почему кинематика и здоровье человека тесно взаимосвязаны?
4. Каковы биомеханические особенности переместительных действий в ациклических видах спорта?
5. Каковы биомеханические особенности локомоций в циклических и ациклических видах спорта?
6. Какие способы управления вращательными движениями вам известны?

Задания для самоконтроля и закрепления знаний

1. Выполните анализ кинематограммы бега расчетно-аналитическим методом, а именно динамических характеристик:

- а) определение массы тела;
- б) определение ЦМ отдельных звеньев тела;
- в) определение моментов сил отдельных звеньев тела.

Сделайте выводы по работе.

Инвентарь: миллиметровая бумага, карандаш, транспортир.

2. Разогните руку в локтевом суставе дважды: первый раз предельно расслабленно, второй раз предельно напряженно, но так, чтобы угловая скорость предплечья во второй раз была такой же, как и в первый. Вы видите, что кинематика (т. е. внешняя картина двигательного действия) в обоих случаях одинакова. Так происходит потому, что и в том и в другом случае момент сил разгибателей предплечья больше момента сил сгибателей на одну и ту же величину. Но заметьте, что силы тяги мышц (а значит, и расходуемая энергия) во втором случае во много раз больше, чем в первом.

Не случайно во многих видах спорта (например, в плавании, горных лыжах и т. п.) умение расслаблять мышцы, которые в данный момент времени могут не участвовать в выполнении основного двигательного действия, является признаком высшего мастерства.

5.1. Инерционные характеристики

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

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 изменят внешние силы.

Любые тела сохраняют скорость неизменной при отсутствии внешних воздействий одинаково. Это свойство, не имеющее меры, и предлагается называть *инерцией*. 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. Чтобы изменить величину скорости или ее направление, необходимо преодолеть инерцию движения. Преодоление инерции при активных движениях частей тела и человека в целом происходит путем работы мышц. Проявление инерции тела, т. е. сопротивление его силам, изменяющим состояние покоя или скорость движения, зависит от массы движущегося тела и величины ускорения.

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

$$M = F/a; (m) = M,$$

где m — масса; F — сила; a — ускорение.

Сопrotивление данного тела силам, изменяющим его состояние относительного покоя или скорость его движения, количественно выражается силой инерции, равной произведению массы данного тела на его ускорение, взятое с обратным знаком:

$$F = -m \cdot a; (F) = MLT^{-2}.$$

Эта реальная сила инерции действует на другое тело, вызывающее ускорение данного тела. Проявление инерции обуславливает взаимодействие тел, сформулированное в 3-м законе механики.

Для приведения тела в движение с определенной скоростью необходимо совершать работу, чтобы преодолеть инерцию покоя и преобразовать потенциальную энергию напряжения мышц в кинетическую энергию (рекуперация энергии) движущегося тела. В данном случае работа мышц будет преодолевающая, мышечная сила играет роль движущей силы. Для достижения высокой скорости движения часто используется наиболее эффективная форма преодолевающей работы мышц — баллистическая.

Во время движения по инерции тело сохраняет имеющуюся скорость. Под действием внешних сил изменяется движение тела (по направлению и величине скорости). При этом возникают силы инерции. Под действием движущей силы скорость увеличивается.

При действии тормозящей силы скорость уменьшается — движущееся тело совершает работу, преодолевая сопротивление за счет своей кинетической энергии.

Сила инерции возникает и при прекращении движения, при необходимости быстро «погасить» скорость или при приземлении. Важнейшей силой сопротивления при этом является мышечная сила (уступающая работа мышц) и сила трения.

Сила инерции при изменении направления движения тела проявляется в виде центробежной силы. Величина ее находится в прямой зависимости от массы тела, скорости его движения и резкости изменения направления скорости (т. е. в обратной зависимости

от радиуса поворота). Для изменения направления движения (например, при беге по виражу беговой дорожки стадиона) требуется дополнительная преодолевающая работа мышц. Вследствие этого криволинейное движение менее экономно и менее эффективно, чем прямолинейное.

Противодействуя такой силе, спринтер вынужден наклоняться к середине поворота на 27° . При этом центробежная сила не только стремится выбросить спринтера наружу от поворота. Часть ее, действуя по продольной оси тела вниз, дополнительно к вертикальным силам инерции тела, загружает его. Величины такой дополнительной нагрузки очень велики, составляя 158 Н, что равно 16 кгс [19; 44; 46]:

$$E = mV^2/R,$$

где E – кинетическая энергия спортсмена; m – масса тела; V – скорость бега; R – радиус дорожки (17°).

При выполнении физических упражнений правильное использование инерции экономизирует работу двигательного аппарата. Одной из важных основ высокой спортивной техники является «овладение» весом и инерцией собственного тела и спортивных снарядов.

5.2. Работа силы и ее мощность

Работа силы – это мера действия силы на тело при некотором его перемещении под действием этой силы.

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

Работа силы тяжести тела равна произведению его веса на разность высот (h) начального и конечного положений:

$$A_{\text{тяж}} = Ph.$$

При опускании тела работа силы тяжести положительная, при поднимании – отрицательная.

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

Мощность силы – это мера быстроты приращения работы силы. Мощность силы в данный момент времени равна производной по времени от работы:

$$N = dA/dt = A = Fv; [N] = ML^2T^{-3},$$

где N – мощность; dA – элементарная работа; F – сила, совершающая работу.

Скалярная величина, характеризующая быстроту совершения работы, называется средней мощностью силы:

$$P = W/t,$$

где W – энергия; t – время.

В СИ единицей мощности является ватт:

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж}/1 \text{ с} = (1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2)/1 \text{ с} = (1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2)/\text{с}^3.$$

Часто употребляются кратные единицы – киловатт ($1 \text{ кВт} = 10^3 \text{ Вт}$) и мегаватт ($1 \text{ МВт} = 10^6 \text{ Вт}$).

Подставив в формулу $P = W/t$ значение работы, получим

$$P = F \cos \alpha \cdot s/t = F \cos \alpha \cdot v.$$

Формула $P = W/t$ выражает среднюю мощность силы (P_{cp}) за некоторый промежуток времени $t = t_1 - t_2$, и тогда можно узнать среднюю скорость точки по формуле $s/t = v_{\text{cp}}$. Если с течением времени сила сохраняла постоянное значение, то средняя мощность

$$P_{\text{cp}} = P = \text{const.}$$

По формуле можно определить мощность переменной силы в любой момент времени, если в этот момент известны значения $F_t = F \cos \alpha$ и $v = ds/dt$.

Если в течение некоторого времени t мощность организма остается постоянной (или существенно не изменяется), то произведенная работа выражается формулой

$$W = Pt.$$

Отсюда появилась и получила широкое распространение единица работы киловатт-час:

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 10^3 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

5.3. Сила и момент силы относительно точки

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

$$F = ma; (F) = MLT^{-2}.$$

Измерение силы, так же как и массы, основано на втором законе 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 и заменять равнодействующей. По третьему закону Ньютона о том, что действию всегда существует равное и противоположно направленное противодействие, действия двух тел друг на друга всегда равны и противоположны по направлению. Надо отчетливо понимать, что этот закон справедлив только для инерциальных систем отсчета. При применении неинерциальных систем отсчета помимо взаимодействия тел учитывают еще «фиктивные» силы инерции.

Иногда используют неинерциальную («ускоряющуюся») систему отсчета, в которой законы Ньютона неприменимы. В таких случаях вводят «*фиктивную*» силу инерции, что позволяет в расчетах применить законы Ньютона. Она имеет такую же величину $F = m \cdot a$ (масса, умноженная на ускорение) и направлена так же (в сторону, противоположную ускорению неинерциальной системы), как реальная сила инерции. Но точкой приложения «фиктивной» силы инерции считается центр инерции самого ускорения тела (центр инерции твердого тела — точка приложения равнодействующей параллельных сил инерции («фиктивных») всех частей тела). Фиктивная здесь не сама сила инерции, а точка ее приложения (центр инерции ядра, мяча, диска вместо рабочей точки тела человека).

Хотя чаще всего говорят про силу и результат ее действия, 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.

Моментом силы относительно точки называется взятое со знаком «плюс» или «минус» произведение модуля силы на кратчайшее расстояние от точки до линии действия силы, так как

$$M_o(F) = \pm Fl.$$

Точка O , относительно которой берется момент силы, называется центром момента; $OB = l$ — кратчайшее расстояние от центра момента до линии действия силы — называется плечом силы относительно данной точки; знак «плюс» ставится в случае, если сила F стремится повернуть плечо l против хода часовой стрелки, а знак «минус» — в противоположном случае. Момент силы F относительно точки O показан на рис. 17.

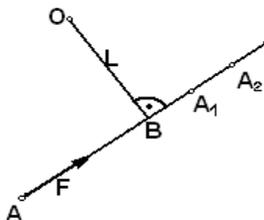


Рис. 17. Положительный вектор

Из равенства $M_o(F) = \pm Fl$ следует, что при $l = 0$, т. е. когда центр моментов O расположен на линии действия силы F , $M_o(F) = 0$.

Как известно, сила — скользящий вектор, поэтому при переносе силы F по линиям действия из точки A в любую другую точку A_1 , A_2 и т. д. (рис. 17) длина плеча не изменится, а значит, не изменится и значение момента силы относительно точки.

В зависимости от расположения сил относительно оси вращения различают рычаги первого, второго и третьего рода. В *рычаге первого рода* ось вращения находится между точками приложения сил (т. е. рычаг первого рода является двуплечим рычагом), обе силы имеют одинаковое направление (вниз, вверх или в сторону); давление на ось вращения равно сумме действующих сил. *Рычаг второго рода* имеет ось вращения на конце, т. е. точки приложения сил находятся по одну сторону от оси вращения. Таким образом, рычаг второго рода имеет лишь одно плечо рычага, т. е. является одноплечим рычагом; приложенные силы имеют противоположные направ-

ления (например, одна вверх, другая вниз), давление на ось вращения (или точку опоры рычага) равно разности действующих сил. В рычаге второго рода мышечная сила действует на длинное плечо, а сила сопротивления — на короткое плечо силы. *Рычаг третьего рода* также является одноплечим рычагом. Он отличается от рычага второго рода тем, что здесь мышечная сила действует на короткое плечо силы, а сила сопротивления — на длинное плечо силы.

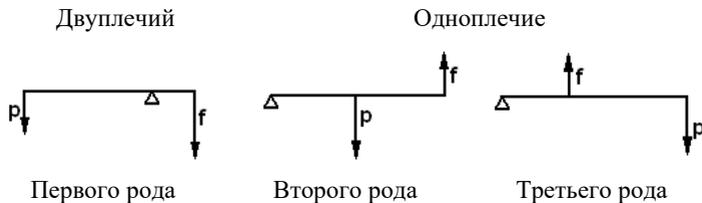


Рис. 18. Виды рычагов

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 скорости. Наоборот, если действовать мышечной силой на короткое плечо, то можно выиграть в пути и скорости за счет проигрыша в силе. Одноплечий рычаг второго рода позволяет выиграть в силе, и поэтому его называют *«рычагом силы»*. Одноплечий рычаг третьего рода позволяет выиграть в пути и скорости, и поэтому его называют *«рычагом скорости»* или *«рычагом ловкости»*.

Примерами двулучий рычагов могут служить череп и таз при основной стойке. Примером одноплечевого рычага может служить свободная конечность или часть ее, удерживаемая горизонтально: поднятые горизонтально рука, нога, предплечье, голень и т. п. (рис. 19).

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, сеса-

мовидные косточки, к которым мышцы прикрепляются или через которые они переходят. Эти косточки увеличивают угол подхода мышцы к кости как к рычагу и тем самым увеличивают плечо силы тяги мышцы и момент вращения мышечной силы.

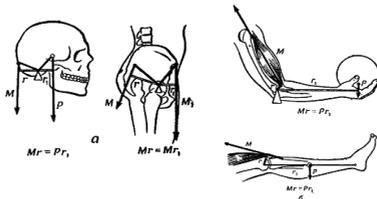


Рис. 19. Кости как рычаги первого и третьего рода

Между моментом пары и моментами сил пары относительно любой точки существует такая важная зависимость: *алгебраическая сумма моментов сил пары относительно любой точки — величина постоянная для данной пары и равна ее моменту.*

Возьмем любую пару сил (F_1, F_2) с плечом l , момент этой пары $M = Fl$. Выберем в плоскости пары произвольную точку O и восставим из нее перпендикуляры OB и OA к линиям действия сил F_1 и F_2 пары. Определим моменты сил пары относительно точки O :

$$M_o(F) = F \cdot OA \text{ и } M_o(F) = -F \cdot OB.$$

Сложим эти моменты сил:

$$M_o(F) + M_o(F) = F \cdot OA - F \cdot OB = F(OA - OB) = Fl,$$

так как $F = F$ и $OA - OB = l$ (где l — плечо пары).

Таким образом, $M_o(F) + M_o(F) = M$.

Так же как и момент пары сил, момент силы относительно точки можно рассматривать как величину векторную.

Вектор момента силы F относительно точки O приложен в той же точке O , направлен перпендикулярно плоскости действия момента в ту сторону, откуда сила представляется поворачивающей плечо l против хода часовой стрелки, и равен произведению модуля этой силы на плечо.

Как уже было сказано, для приведения тела во вращательное движение требуется пара сил. В случае вращательного движения в суставе пара сил образуется силой тяги мышц и реактивной силой, получающейся в результате давления одной суставной поверхности на другую.

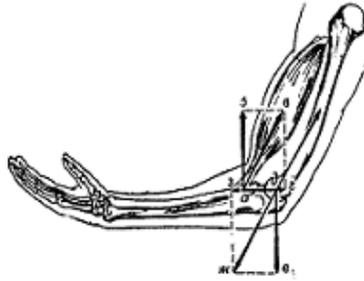


Рис. 20. Сила тяги двуглавой мышцы за лучевую кость

Рассмотрим это важное обстоятельство на примере вращательного движения (сгибания) в локтевом суставе. На рис. 20 вектором ab изображена сила тяги двуглавой мышцы за лучевую кость. Эта сила может быть разложена по правилу параллелограмма на составляющие ab и ag — вращательную силу и силу давления лучевой кости на плечевую. Сила ag , будучи перенесена своим началом в точку приложения d , представляет собой давление, производимое вдоль плечевой кости. Этой силе противодействует реактивная сила $дж$, которая может быть разложена на силы de и dz . Вращающая сила ab вместе с силой $дж$ образуют пару сил, производящих сгибание в локтевом суставе. Вращающий момент этой пары сил может быть выражен как произведение: $M = abад$. Если бы реактивная сила отсутствовала, то вместо сгибания в локтевом суставе произошло бы перемещение предплечья по направлению тяги двуглавой мышцы.

Реактивная сила в суставе (точке опоры) обычно только подразумевается, и на схемах ее вектор не изображается. В этом случае для определения вращающего момента величину мышечной силы (или другой действующей силы, например силы тяжести) умножают на ее плечо, которое равно длине перпендикуляра, опущенного из центра сустава на направление силы. Плечо силы (n) можно определить также, зная расстояние между точкой прикрепления мышцы и осью сустава, т. е. плечо рычага (a), и угол, под которым действует мышечная тяга на кость: $(n) = n = a \sin \alpha$. Таким образом, момент вращения может быть выражен как $M = fa \sin \alpha$.

В том случае, когда $\alpha = 90^\circ$, $M = fa$.

Разберем для примера динамическую схему вращения в локтевом суставе, где кости предплечья образуют рычаг третьего рода (рис. 21). Пусть плечо занимает вертикальное положение, а предплечье согнуто под некоторым углом. Двуглавая мышца возбуждена и тянет за лучевую кость вверх. Момент вращения двуглавой мышцы равен произведению силы f на плечо ab и синус угла подхода к лучевой кости α :

$$M_1 = fab \sin \alpha.$$

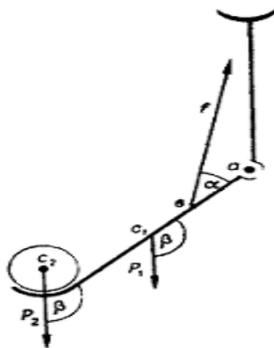


Рис. 21. Динамическая схема вращения в локтевом суставе

Двуглавая мышца работает против силы тяжести – веса предплечья и кисти (P_1) и веса груза, лежащего на кисти (P_2). Обе эти силы направлены вниз и действуют под одинаковым углом β . Местом приложения силы P_1 является центр тяжести системы предплечье – кисть (точка C_1), а местом приложения силы P_2 – центр тяжести груза (точка C_2). Вращающие моменты этих сил в отношении локтевого сустава равны:

$$M_{p1} = P_1 \cdot ac_1 \cdot \sin \beta \text{ и } M_{p2} = P_2 \cdot ac_2 \cdot \sin \beta.$$

В том случае, когда момент мышечной силы и сумма моментов силы тяжести равны $M_f = M_{p1} + M_{p2}$, движение в локтевом суставе отсутствует – мышца удерживает груз, моменты силы мышцы и силы тяжести уравниваются друг друга. Если $M_f > M_{p1} + M_{p2}$, то в локтевом суставе происходит сгибание – сила мышцы преодолевает силу тяжести. Наконец, когда $M_f < M_{p1} + M_{p2}$, то, несмотря на наличие мышечной тяги, происходит разгибание – сила мышцы преодолевается силой тяжести, мышца как бы уступает тяжести. Принято

говорить, что в первом случае мышца выполняет удерживающую или уравнивающую работу, во втором — преодолевающую и в третьем — уступающую.

С изменением положения частей тела, т. е. с изменением углов между звеньями тела, изменяется и плечо силы тяги мышц. Вместе с этим изменяются и механические условия проявления мышечной силы. Если плечо этой силы увеличивается, то механические условия для работы мышц облегчаются, так как момент вращения может быть сохранен при уменьшении напряжения мышц или будет увеличиваться без усиления мышечной тяги. При сокращении мышцы угол ее подхода к кости обычно увеличивается. Увеличение угла до 90° обуславливает увеличение плеча силы и вращающего момента. Однако по мере укорочения мышцы сила ее тяги уменьшается. Таким образом, механические и физиологические условия проявления мышечной силы во время движения в суставе изменяются в противоположных направлениях.

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 непросто. Это одна из главных задач при овладении движениями, путь к наибольшей экономичности и точности движений.

5.4. Импульс силы. Количество движения. Кинетическая энергия

Из основного закона динамики вытекают так называемые общие теоремы динамики, с помощью которых значительно упрощается решение некоторых задач динамики.

Любое взаимодействие тел, приводящее к какому-либо изменению движения, длится в течение некоторого времени.

Векторная мера действия силы Fdt , равная произведению силы на элементарный промежуток времени ее действия, называется элементарным импульсом силы. Направление вектора импульса совпадает с направлением вектора силы.

Единица импульса в СИ — Н · с:

$$1 \text{ Н} \cdot \text{с} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2 \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}.$$

Импульс силы за конечный промежуток времени $t = t_2 - t_1$ получим, просуммировав элементарные импульсы: $\int F dt$.

Отсюда следует, что при $F = \text{const}$ импульс силы за время $t = t_2 - t_1$ равен $F dt$.

Если на точку действуют несколько сил, то их общий импульс равен геометрической сумме импульсов отдельных сил.

Векторная мера механического движения точки, равная произведению массы точки m на ее скорость v в данный момент времени, называется количеством движения mv . Направление вектора количества движения совпадает с направлением вектора скорости. Единица количества движения в СИ — кг · м/с. Как видим, единицы импульса силы и количества движения одинаковы.

Скалярная мера механического движения точки $mv^2/2$, равная половине произведения массы тела на квадрат ее скорости, называется кинетической энергией. Единица кинетической энергии — джоуль (Дж); $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2 \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2$.

5.5. Теорема об изменении количества движения системы

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:

$$K = mv; (K) = MLT^{-1}.$$

Количество движения тела может быть определено, например, по тому, как долго оно движется до остановки под действием измеренной тормозящей силы. Соответствующее изменение количества движения происходит под действием импульса силы:

$$\int Ft = \Delta mv.$$

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:

$$S = \int F dt; [S] = MLT^{-1}.$$

Элементарный импульс (ds) равен произведению силы на элементарный промежуток времени (dt) ее действия.

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).

За конечный промежуток времени импульс момента силы равен определенному интегралу от элементарного импульса момента силы; пределами интеграла являются моменты начала и конца данного промежутка времени:

$$S_z = \int M_z (F) dt; [S_z] = ML^2T^{-1}.$$

Кинетический момент — 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:

$$K_z^2 = I\omega; [K_z^2] = ML^2T^{-1}.$$

Таким же образом под действием импульса момента силы происходит соответствующее изменение кинетического момента (момент количества движения):

$$\int M_z (F) dt = \Delta I\omega.$$

Пусть на точку массой m действует система постоянных сил, равнодействующая которых F_z . Согласно основному закону динамики

$$F_z = ma.$$

Учитывая время действия сил, умножим обе части равенства на продолжительность их действия Δt :

$$F_z \Delta t = ma\Delta t.$$

Подставив в это равенство вместо a его выражение

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t},$$

получим:

$$F_z \Delta t = mv_2 - mv_1.$$

Разность $mv_2 - mv_1$ равна изменению количества движения, и теорема, выражаемая уравнением, читается так: *изменение количества движения точки равно импульсу всех сил.*

Спроецировав на оси координат обе части векторного равенства, в общем случае получим систему трех скалярных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} F_{\Sigma x} \Delta t &= mv_{2x} - mv_{1x} \\ F_{\Sigma y} \Delta t &= mv_{2y} - mv_{1y} \\ F_{\Sigma z} \Delta t &= mv_{2z} - mv_{1z} \end{aligned} \right\},$$

где $F_{\Sigma x} = \Sigma F_{kx}$; $F_{\Sigma y} = \Sigma F_{ky}$; $F_{\Sigma z} = \Sigma F_{kz}$.

Если силы, действующие на точку, лежат в одной плоскости, то получим два скалярных уравнения. Если силы действуют вдоль одной прямой, то, спроецировав уравнение на эту прямую, получим одно скалярное уравнение:

$$F_{\Sigma} \Delta t = mv_2 - mv_1.$$

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

5.6. Теорема об изменении механической энергии системы

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 совершать работу. При поступательном движении она измеряется половиной произведения массы тела на квадрат его скорости:

$$E_{\text{к(пост)}} = mv^2/2; (E_{\text{к(пост)}}) = ML^2T^{-2}.$$

На точку действует система постоянных сил, равнодействующая которых F_{Σ} , и ради упрощения рассуждений допустим, что силы действуют вдоль одной прямой. Тогда основному закону динамики в векторной форме эквивалентно равенство

$$F_{\Sigma} = ma.$$

Умножим обе части этого равенства на перемещение точки Δs :

$$F_{\Sigma} \Delta s = ma \Delta s.$$

При действии постоянных сил на прямолинейном пути

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} \text{ и } \Delta s = v_{\text{ср}} \Delta t = \frac{(v_2 + v_1) \Delta t}{2}.$$

Подставим эти значения a и Δs в последнее равенство:

$$F_{\Sigma} \Delta s = \frac{m(v_2 - v_1)}{\Delta t} \cdot \frac{(v_2 + v_1) \Delta t}{2}.$$

Отсюда с учетом того, что $F_{\Sigma} \Delta s = W_{\Sigma} = \Sigma W_{\text{к}}$, следует:

$$\Sigma W_{\text{к}} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2},$$

т. е. *изменение кинетической энергии точки равно сумме работ действующих сил.*

Если точка движется равномерно, т. е. $v_1 = v_2$, и изменение кинетической энергии $\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = 0$, то из формулы получим

$$\Sigma W_{\text{к}} = 0.$$

Если $v_1 > v_2$, то изменение кинетической энергии $\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} > 0$, т. е. кинетическая энергия точки возрастает и, значит, работа движущих сил больше работ сил сопротивления.

Если $v_1 < v_2$, то изменение кинетической энергии $\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} < 0$, т. е. кинетическая энергия точки убывает и, значит, силы сопротивления совершают большую работу, чем движущие силы.

При вращательном движении кинетическая энергия тела имеет выражение:

$$E_{\text{к(вр)}} = (I\omega^2)/2; [E_{\text{к(вр)}}] = ML^2T^{-2}.$$

Потенциальная энергия тела — это энергия его положения, обусловленная взаимным относительным расположением тел или частей одного и того же тела и характером их взаимодействия. Потенциальная энергия в поле сил тяжести:

$$E_{\text{л(тяж)}} = Gh,$$

где G — сила тяжести; h — разность уровней начального и конечного положения над Землей (относительно которого определяется энергия).

Потенциальная энергия упругодеформированного тела:

$$E_{\text{п(упр)}} = (C\Delta l^2)/2,$$

где C — модуль упругости; Δl — деформация.

Потенциальная энергия в поле сил тяжести зависит от расположения тела (или системы тел) относительно Земли. Потенциальная энергия упругодеформированной системы зависит от относительного расположения ее частей. Потенциальная энергия возникает за счет кинетической (подъем тела, растягивание мышцы) и при изменении положения (падение тела, укорочение мышцы) переходит в кинетическую (рекуперация энергии).

Полная механическая энергия системы равна сумме кинетической и потенциальной энергии. При отсутствии воздействия внешних сил полная механическая энергия системы не изменяется.

Изменение кинетической энергии материальной системы на некотором пути равно сумме работ внешних и внутренних сил на этом же пути:

$$\Delta \frac{mv^2}{2} = A^e + A^i.$$

Кинетическая энергия системы равна работе тормозящих сил, которая будет произведена при уменьшении скорости системы до нуля.

В движениях человека одни виды движения переходят в другие. Поэтому энергия как мера движения материи также 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) передается при их действии на тело человека звеньям тела, преобразуется в потенциальную энергию растягиваемых мышц-антагонистов и в рассеивающуюся тепловую энергию.

5.7. Механический коэффициент полезного действия

В природе работа сил связана с преодолением различных сопротивлений. Для их преодоления в спорте выполняется множество разнообразных движений. Силы сопротивления $F_{п.с.}$, которые преодолевает любой спортсмен, можно разделить на две группы: сопротивления, для преодоления которых спортсмен (бегун) или спортивный снаряд и предназначены и которые условно назовем *полезными сопротивлениями* $F_{п.с.}$, и так называемые *вредные сопротивления* $F_{в.с.}$, которые спортсмену приходится вынужденно преодолевать попутно с полезными. Работу по преодолению полезных сопротивлений назовем полезной и обозначим $W_{п.с.}$. Работу по преодолению вредных сопротивлений обозначим $W_{в.с.}$.

Тогда вся работа, совершаемая спортсменом, $W = W_{п.с.} + W_{в.с.}$, отсюда

$$W_{п.с.} = W - W_{в.с.}$$

Отношение полезной работы ко всей совершённой работе называется *механическим коэффициентом полезного действия (КПД)* и обозначается η . Таким образом,

$$\eta = W_{п.с.}/W \text{ или } \eta = (W_{п.с.}/W) \cdot 100 \%$$

Подставив в первую из этих формул вместо полезной работы ее значение $W_{п.с.} = W - W_{в.с.}$, получим

$$\eta = (W - W_{в.с.})/W = 1 - W_{в.с.}/W.$$

Из формулы видно, что КПД тем ближе к единице, чем меньше дробь $W_{в.с.}/W$, т. е. чем меньше работа по преодолению вредных сопротивлений. Если в формуле числитель и знаменатель разделить на t — время, в течение которого выполняет работу спортсмен, то получим формулу КПД, выраженную через отношение мощностей:

$$\eta = P_{п.с.}/P.$$

Чем больше КПД (η), тем эффективнее движение.

Контрольные вопросы

1. Что относится к биодинамическим характеристикам движений?
2. Как происходит рекуперация энергии в двигательных действиях?
3. Расскажите о строении и биомеханических функциях двигательного аппарата человека.
4. Как производятся мощность, работа и энергия мышечного сокращения в биосистеме?
5. Какой критерий оптимальности является основным, когда спортсмен стремится максимизировать среднестанционную скорость?

Задание для самоконтроля и закрепления знаний

Выполните анализ кинезиограммы бега расчетно-аналитическим методом, а именно динамических характеристик:

- а) определение массы тела;
- б) определение ЦМ отдельных звеньев тела;
- в) определение моментов сил отдельных звеньев тела;
- г) определение силы тяжести отдельных звеньев тела (дистантной и контактной силы).

Сделайте выводы по работе.

Инвентарь: миллиметровая бумага, карандаш, транспортир.

6.1. Гравитационное поле

Гравитационное поле играет исключительно важную роль в природе. Воздействие гравитации испытывают все тела, которые обладают массой. Оно состоит в том, что все тела притягивают друг друга и сила притяжения прямо пропорциональна произведению масс тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Гравитация играла важнейшую роль при формировании физической среды, в которой зародились организмы: она способствовала образованию морей и атмосферы. Влияние гравитации на организмы, зародившиеся и жившие в водной среде, было незначительным, однако впоследствии, когда эти организмы вышли на сушу, они приспособились к большему влиянию гравитации. Все организмы реагируют на нее путем изменения формы, позы или локомоции.

Многие авторы исследовали минимальный размер организмов, на которые гравитация оказывает непосредственное воздействие. Изучался также вопрос, на каком уровне воздействует гравитация: на клеточном, на уровне органов, на уровне всего организма.

Вследствие невесомости наступают изменения в скелетно-мышечной системе, в распределении жидкой среды в организме и т. п. При переходе к состоянию невесомости получает изменения вся система рецепторов, которые в земных условиях реагируют на воздействия гравитационных сил, в значительной степени обеспечивают пространственную ориентацию организма и регулируют постоянство внутренней среды организма.

Распределение жидкости в системе упругих резервуаров организма определяется законами гидростатики. В вертикальном положении тела некоторая часть крови переходит в нижнюю его часть, убывает приток венозной крови в сердце, ослабевает систолическое выталкивание крови, а также меняются другие компенсаторные реакции. Изменение положения тела в пространстве меняет величину и направление гравитационных перемещений крови в организме человека. Постоянное пребывание в горизонтальном положении уменьшает величину и меняет направление гидростатических сил.

Изменение жидкой среды в организме является важнейшей биологической реакцией на гравитацию.

В связи с этим изучается влияние силы тяжести на деятельность сердечно-сосудистой системы. Многие особенности строения сердечно-сосудистой системы можно понять только на основании представления о предопределяющем влиянии механических условий окружающей среды.

В ряде исследований отмечается, что при меньшей гравитации тело человека имеет согнутую позу — с наклоном вперед и с увеличенным сгибом тазобедренного и коленного суставов. При таком положении центр тяжести приближается к опоре и образуется горизонтальная компонента силы тяжести, облегчающая движение вперед. Другая особенность локомоции человека в поле с меньшей гравитацией выражается в видимом замедлении темпа движения.

В условиях лунного притяжения двигательные особенности человека заметно увеличиваются, поскольку мышечные силы превышают гравитационную нагрузку тела. Человек получает еще одну возможность передвигаться — прыгать. Прыжок в высоту увеличивается до 6 раз (3,2–4,2 м), а в длину — в два и больше раза. На Луне человек может поднимать и переносить предметы со значительной массой.

Основной причиной этих явлений считается функциональная «недогрузка» опорно-двигательной системы вследствие отсутствия опорных нагрузок по направлению вертикальной оси тела, уменьшения работы мышц и т. п.

Отсутствие нагрузки на опорно-двигательную систему уменьшает импульс от проприорецепторов, что ведет к понижению тонуса коры двух полушарий головного мозга и скелетных мышц.

Продолжительное пребывание в состоянии невесомости и отсутствие специальных мышечных упражнений могут привести к атрофии мышц и скелета вследствие выделения больших количеств кальция и фосфора.

Влияние ускорений на человеческий организм зависит от величины соответствующего ускорения, его продолжительности, направления вектора ускорения по отношению к телу, функционального состояния организма и т. п. Воздействие ускорений может выразиться в различных состояниях, начиная с легких функцио-

нальных изменений и до тяжелых расстройств дыхательной, сердечно-сосудистой, нервной и других систем. Мягкие ткани и ряд внутренних органов перемещаются и деформируются по направлению инерционных сил. Направление этих сил всегда противоположно направлению ускорения. Характер реакции внутренних тканей и органов и нарушение их функций зависят от их местоположения, упругих связей с соседними тканями, относительного веса и т. п. Наиболее сильно ускорение влияет на кровь и другие жидкости в тканях. При больших ускорениях наблюдаются нарушения зрения и нервной системы.

Нарушение кровообращения под действием ускорений имеет наибольшее значение. Эти нарушения связаны с перераспределением крови, что было описано выше в связи с гравитацией. При действии продольного ускорения и перегрузки (инерционной силы) в направлении от головы к ногам совершается перераспределение крови от головы к брюшной полости и нижним конечностям. Вследствие этого меняется кровяное давление в кровеносных сосудах — над сердцем уменьшается, а под ним увеличивается. Появляется анемия в головном мозге и органах чувств. Вследствие этого расстраивается зрение, и человек может потерять сознание.

Реакция тканей и органов человеческого организма на воздействия ускорений определяет его устойчивость. Из литературы известно, что имеются значительные колебания индивидуальной устойчивости людей к ускорениям. Эта устойчивость определяется исходным, функциональным состоянием, возрастом, здоровьем, характером и степенью развития мышечной системы и тренировками.

6.2. Центр тяжести тела

*Сила тяжести — одно из проявлений закона всемирного тяготения. Это сила, распределенная по всему объему тела, так как на каждую его материальную частицу действует сила притяжения, направленная к центру Земли. Силы притяжения, приложенные к частицам твердого тела, образуют систему с линиями действия, сходящимися в центре Земли. Но радиус Земли — 6380 км, и если взять у поверхности Земли две материальные точки *A* и *B* на расстоянии одну от*

другой, то линии действия сил тяжести этих точек образуют угол $\alpha = AB/r^3 = 10/6\ 380\ 000 = 1,57 \cdot 10^{-7}$ рад. Выразив этот угол в секундах, получим: $\alpha \sim 0,3''$. Следовательно, углы между линиями действия сил тяжести, приложенных к телу, размеры которого достигают даже несколько сотен метров, настолько малы, что систему сил тяжести, приложенных к телу, практически безошибочно можно считать параллельной.

Центр параллельных сил тяжести G_k всех частиц тела называется центром тяжести тела (масс звеньев тела). Через центр тяжести C проходит линия действия силы G – равнодействующей сил тяжести ($G = \Sigma G_k$) при любом положении тела относительно поверхности Земли.

Если в формулах модули сил F_k заменим модулями сил тяжести G_k , то получим формулы

$$X_c = \Sigma G_k x_k / \Sigma G_k; Y_c = \Sigma G_k y_k / \Sigma G_k; Z_c = \Sigma G_k z_k / \Sigma G_k.$$

При всякой мышечной работе оказывает влияние сила тяжести. В зависимости от конкретных условий это влияние будет различным. Действие силы тяжести при статической работе уравнивается напряжением соответствующих мышц. Это уравнивание происходит по правилу равновесия рычага, т. е. при наличии равенства моментов силы мышц и силы тяжести, местом приложения которой является центр тяжести. Момент силы тяжести каждой части тела зависит от ее веса и от плеча силы, т. е. от кратчайшего расстояния линии тяжести от опорного сустава (рис. 22).

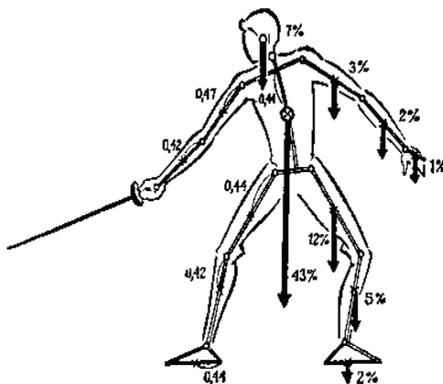


Рис. 22. Сила тяжести

При изменении положения части тела изменяется и *плечо силы тяжести*, а вместе с этим изменяется и ее момент. Наибольшей величины плечо (и момент) силы тяжести достигает при горизонтальном расположении части тела. При вертикальном расположении части тела линия ее тяжести может проходить через опорный сустав, тогда плечо и момент силы тяжести будут равны нулю и сила тяжести будет уравниваться опорной реакцией. Изменения момента силы тяжести вызывают необходимость изменить и момент силы тяги мышц. Из практики известно, что для сохранения позы с удержанием отдельных частей тела в горизонтальном положении требуется значительное напряжение мышц. Гимнастические упражнения – так называемые «горизонтали» – являются наиболее трудными силовыми упражнениями. Держать один и тот же груз труднее или легче в зависимости от плеча силы тяжести.

Таким образом, при статической работе величина силы тяжести частей тела и удерживаемого груза, а также расположение их центров тяжести определяют степень необходимого статического напряжения мышц, а следовательно, и интенсивность возбуждения соответствующих двигательных нервных центров и характер нервного воздействия на работающие мышцы.

При динамической работе мышц влияние силы тяжести будет разным в зависимости от плоскости и направления движения. При движениях в вертикальной плоскости сила тяжести в зависимости от направления движения может быть или силой движущей (при движении вниз), т. е. вызывать движение, увеличивать скорость, или силой тормозящей (при движении вверх), т. е. тормозить движение, уменьшать скорость. Все движения вверх, кроме пассивного движения по инерции, из-за тормозного действия силы тяжести обязательно требуют преодолевающей работы мышц.

Таким образом, в зависимости от конкретных условий взаимодействия человека и среды сила тяжести вызывает необходимость то статической, то динамической работы мышц, преодолевающей или уступающей.

6.3. Определение координат центра тяжести тел в пространстве

Если пространственное положение тела имеет плоскость симметрии, то координата по оси, перпендикулярной плоскости симметрии, равна нулю (центр тяжести в этой плоскости) и для определения положения центра тяжести необходимо определить лишь две координаты. Если же тело имеет две плоскости симметрии, то для определения положения центра тяжести достаточно найти одну координату. При наличии у тела центра симметрии его центр тяжести определяется положением центра симметрии.

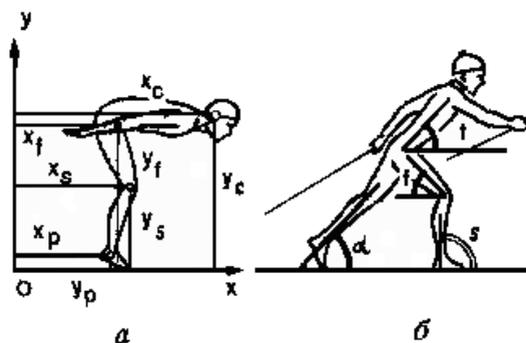


Рис. 23. Координаты положения тела: *a* – линейные; *б* – угловые

Для успешного решения задач, в которых требуется определить положение центра тяжести тел, полезно знать формулы координат центра тяжести некоторых линий, плоских фигур и тел.

6.4. Устойчивость равновесия

Понятие механики «устойчивость равновесия» имеет большое практическое значение и широко используется в спорте.

Как известно из физики, имеющее точку опоры тело, на которое действует только сила тяжести, находится в равновесии, если сила тяжести и реакция опоры действуют вдоль одной прямой (вторая аксиома статики). Но при этом наблюдаются три разновидности равновесия.

1. *Устойчивое равновесие*, при выведении из которого тело возвращается в прежнее положение. Примером устойчивого равновесия может служить тяжелая штанга, лежащая на подмосты, или положение гимнаста на верхней опоре. В обоих случаях при выведении штанги из положения равновесия возникает сила, возвращающая штангу в первоначальное положение. В живой системе существуют внешняя и внутренняя силы (вес штанги — внешняя сила, работа органов и систем организма — внутренняя сила).

2. *Неустойчивое равновесие*, при выведении из которого тело не возвращается в прежнее положение, а удаляется от него еще дальше. Штанга на самой верхней точке опоры, поднятая спортсменом вверх, находится в неустойчивом равновесии, так как достаточно самого ничтожного смещения из этого положения, чтобы штанга под действием силы удалилась от верхней точки еще больше, спортсмен потерял равновесие и опрокинулся под действием образовавшейся пары сил.

3. *Безразличное, или нейтральное равновесие*, если при любом смещении тела его равновесие не нарушается.

Условие устойчивости равновесия тела, находящегося под действием силы тяжести, можно получить из сопоставления трех видов равновесия. Условие устойчивости состоит в том, что при выведении из равновесия центр тяжести тела повышается, т. е. *если центр тяжести тела занимает самое низкое положение по сравнению со всеми возможными соседними положениями, то равновесие тела устойчивое.*

На искусном использовании неустойчивого равновесия основано выполнение различных физических упражнений (динамическое равновесие), бег, метание, акробатика и т. п.

В физических упражнениях человеку нередко бывает необходимо сохранить неподвижное положение тела: исходное (стартовые и др.), конечные (фиксирование штанги после ее поднятия и т. п.), промежуточные (упор углом на кольцах и др.). Во всех таких случаях тело человека как биомеханическая система находится в равновесии. В равновесии могут находиться и внешние тела, связанные с человеком, сохраняющим положение (например, штанга, партнер в акробатике).

Положение тела человека определяется: 1) позой (взаимным расположением звеньев тела), 2) местоположением, 3) ориентацией относительно системы отсчета и 4) отношением к опоре. Для сохранения положения тела нужно закрепить звенья в суставах и не допускать, чтобы внешние силы изменяли его местоположение, ориентацию в пространстве (исключить перемещения и повороты) и связь с опорой. Названные задачи решаются посредством уравновешивания действующих на человека сил и моментов сил. Основу сохранения положения тела составляет уравновешивание сил.

К биомеханической системе могут быть приложены силы тяжести, реакции опоры, веса, мышечные тяги, а также усилия партнера или противника и др. Все силы могут действовать как возмущающие (нарушающие положение) и как уравновешивающие (сохраняющие положение) в зависимости от положения звеньев тела относительно их опоры.

Силы тяжести (дистантные) приложены к ЦМ звеньев и ЦМ тела. В зависимости от конкретных особенностей положения тела они могут либо быть направленными на изменение положения, либо уравновешивать другие возмущающие (отклоняющие, опрокидывающие) силы.

Момент силы тяжести способен возвращать тело в прежнее положение равновесия до тех пор, пока вертикаль, проведенная из центра тяжести тела, проходит внутри площади опоры. Для того чтобы его опрокинуть, необходимо тело 1 повернуть на угол не менее чем α_1 , тело 2 – на угол не менее чем α_2 , тело 3 – на угол не менее чем α_3 (рис. 24, в).

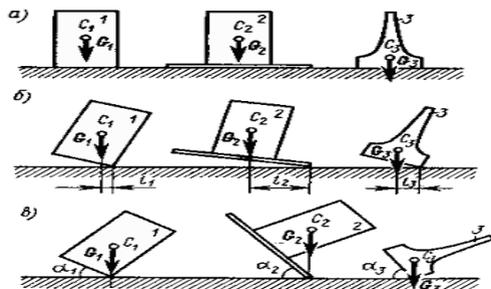


Рис. 24. Углы устойчивости тел

В зависимости от формы тела, размеров его опорной площади, положения центра тяжести относительно этой поверхности и действующих активных сил (их числовое значение и направления) устойчивость тела может быть большей или меньшей и, следовательно, она поддается измерению и количественному сравнению. *Способность тел возвращаться в исходное положение равновесия после прекращения действия сил, нарушающих это равновесие, называется динамической устойчивостью.*

Динамический показатель устойчивости определяется углом устойчивости. *Угол устойчивости образован линией действия силы тяжести и прямой, соединяющей центр тяжести с соответствующим краем площади опоры.*

Физический смысл угла устойчивости заключается в следующем. Чтобы отклонить тело до положения, когда его ЦМ окажется над линией опрокидывания (граничное положение тела над вершиной потенциального барьера) и возникнет неустойчивое равновесие, нужно повернуть его в соответствующей вертикальной плоскости на определенный угол (f). Если ЦМ тела расположен ниже, а его проекция дальше от края опоры, то момент устойчивости восстановит положение на большем пути отклонения, запас возможностей для восстановления положения больше, степень устойчивости больше (рис. 25).



Рис. 25. Углы устойчивости в упоре лежа спереди

Угол устойчивости показывает, в каких пределах еще действует момент устойчивости (рис. 26).

При выполнении физических упражнений возникает проблема сохранения статической устойчивости. *Статической устойчивостью называется способность тела сопротивляться всякому сколь угодно малому нарушению равновесия.*

Отношение абсолютных значений момента устойчивости и опрокидывающего момента называется коэффициентом устойчивости:

$$|M_{yc}| / |M_{on}| = k.$$



Рис. 26. Момент устойчивости: C – центр тяжести;
 P – линия тяжести; r – плечо силы тяжести

По коэффициенту устойчивости $k > 1$ можно судить о степени устойчивости тел.

Условие статической устойчивости, выражающееся неравенством $|M_{yc}| > |M_{on}|$, можно сформулировать иначе. Если $|M_{yc}| > |M_{on}|$, то алгебраическая сумма этих моментов относительно точки A , равная моменту равнодействующей $F_{\Sigma} = F + G$, имеет тот же знак, что и момент устойчивости. Следовательно, неравенство выполняется до тех пор, пока линия действия равнодействующей активных сил, приложенных к телу, проходит внутри его опорной плоскости. Эти силы могут и изменять положение тела, и восстанавливать его. Силы тяги мышц сохраняют позы, фиксируя положение звеньев в суставах. Именно управляя мышечными силами, человек сохраняет положение своего тела.

6.5. Биомеханическая сущность физических качеств спортсмена

Попытаемся проанализировать на основании литературных источников понятие «физические качества спортсмена» с целью установления имеющихся между ними взаимосвязей и, используя категорию «свойства биомеханического аппарата», вскрыть сущность физических качеств спортсмена.

Каждый человек обладает определенными двигательными возможностями (например, может поднять какой-либо вес, пробежать определенное расстояние за определенное время).

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

Совокупность двигательных возможностей человека называют *моторикой*.

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

Основные понятия «сила», «быстрота», «выносливость» и специальные понятия «ловкость» и «гибкость» являются необходимыми общими понятиями теории и методики физического воспитания, но они становятся недостаточными для сложных и скоростных двигательных программ в современном спорте. При характеристике общего развития спортсмена использование понятий свойств биомеханического аппарата системы достаточно, так как для этих целей они являются избыточными по сравнению с понятиями физических качеств. Категорию «физическое качество» можно представить как характеристику усредненных и просуммированных свойств биомеханического аппарата системы, причем усреднение и суммирование осуществляются по времени t (выносливость), по пространству x (гибкость) либо по парным объединениям величин ω , t , x или по всем (сложные качества).

Сила – спектральное свойство биомеханического аппарата системы развивать управляемую мощность, полученную усреднением и суммированием по низкочастотной части спектра (от 0 до 1 Гц).

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

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

Такое определение физического качества «силы» позволяет объединить в этом понятии понятие ньютоновской силы, с одной стороны, а с другой стороны, способность человека совершать механическую работу.

Однако ясно, что такое условное выделение указанного интервала частот для понятия «сила» и приводит к необходимости говорить о различных видах силы (динамическая, статическая и т. п.).

Мышечная сила, измеряемая в условиях динамического режима работы мышц (концентрического или эксцентрического сокращения), обозначается как динамическая сила (F). Она определяется по ускорению (a), сообщаемому массе (m) при концентрическом сокращении мышц, или по замедлению (ускорению с обратным знаком) движения массы при эксцентрическом сокращении мышц. Такое определение основано на физическом законе, согласно которому $F = ma$. При этом проявляемая мышечная сила зависит от величины перемещаемой массы: в некоторых пределах с увеличением массы перемещаемого тела показатели силы растут, дальнейшее увеличение массы не сопровождается приростом динамической силы.

В динамике абсолютно твердого тела силы рассматриваются как причина изменения движения. Однако если силы уравновешены, то изменения движения не произойдет. В деформируемом теле возникает при этом деформация и связанное с нею изменение напряжения внутри тела (статическое действие).

Сила, действующая статически, уравновешена другой силой и вызывает не ускорение, а только деформацию тела. Силу, действующую статически, измеряют уравновешивающей ее силой. Если на данное тело M действуют с одинаковыми силами F_A и F_B два тела A и B (рис. 27), то эти силы взаимно уравновешиваются. Обе силы действуют статически, ускорения нет, скорость тела M не изменяется. Каждая из этих сил (действие) имеет равное и противоположное противодействие (реакции R_A и R_B).

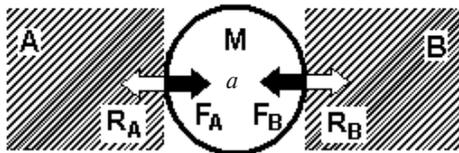


Рис. 27. Статическое действие сил:

a – уравновешивание сил F_A и F_B

Таким образом, $(F_A) = (F_B)$; $(F_A) - (F_B) = 0$; $a = 0$; $v = \text{const}$.

Сила, действующая динамически, не уравновешена другой силой. Она вызывает ускорение, а также деформацию тела, к которому приложена. Такую силу измеряют по изменению движений тела, к которому она приложена, но при этом обычно не определяют затрат работы на деформацию.

У одних и тех же испытуемых обнаруживается умеренная корреляция между показателями статической и динамической силы (коэффициент корреляции в пределах 0,6–0,8).

К одной из разновидностей мышечной силы относится так называемая *взрывная сила, которая характеризует способность к быстрому проявлению мышечной силы*. Она в значительной мере определяет, например, высоту прыжка вверх с прямыми ногами или прыжка в длину с места, переместительную скорость на коротких отрезках бега с максимально возможной скоростью. В качестве показателей взрывной силы используются *градиенты силы, т. е. скорость ее нарастания, которая определяется как отношение максимальной проявляемой силы ко времени ее достижения* или как время достижения какого-нибудь выбранного уровня мышечной силы (абсолютный градиент), либо половины максимальной силы, либо какой-нибудь другой ее части (относительный градиент силы).

Исследованиями установлено, что проявляемая мышечная сила находится в обратной зависимости от скорости движения: чем выше скорость движения, тем меньше проявляемая сила, и наоборот. Разные спортивные упражнения относятся к разным точкам кривой «сила — скорость». Упражнения с внешней нагрузкой, близкой или равной максимальной изометрической мышечной силе, относятся к собственно-силовым упражнениям. Таковы, например, гимнастические упражнения «стойка на кистях», «крест», «переднее равновесие» на кольцах, тяжелоатлетические упражнения со штангой околорекордного или рекордного веса.

При уменьшении внешнего сопротивления скорость движения возрастает, а проявляемая мышечная сила падает. Упражнения с внешней нагрузкой, равной 40–70 % от максимальной изометрической силы, при выполнении которых проявляются относительно большие сила и скорость мышечных сокращений, т. е. большая мощность, относятся к скоростно-силовым упражнениям. Таковы, например, бег на короткие дистанции, прыжки, метание.

В движениях с перемещением малой массы (менее 40 % от максимальной изометрической силы) достигается высокая скорость, а проявляемая мышечная сила относительно мала. Такие упражнения относятся к скоростным движениям ненагруженных конечностей (например, метание малого мяча с места).

Прежде чем перейти к анализу понятия «быстрота», установим, как связаны между собой скорость биомеханического звена длины l и частота его вращательных или колебательных движений (можно сказать, все движения человека состоят в итоге из вращательных и колебательных движений в силу ограниченности линейных размеров его звеньев).

Пусть, например, спринтер бежит стометровую дистанцию за $t = 10$ сек. Оценим приблизительно частоту движений одной его ноги. Положим среднюю длину шага равной 2 м, тогда на всей дистанции обе ноги произведут 50 шагов, или 50 вращательных циклов, а одна нога – соответственно $n = 25$ циклов за 10 сек. Следовательно, средняя частота вращательных движений ноги спринтера составит: $\omega = n/t = 2,5$ Гц.

Зная длину звеньев ноги l , равную, например, 1 м, найдем среднюю скорость движения стопы: $V = l\omega = 2,5$ м/сек.

Отметим, что эта скорость отличается от скорости перемещения самого спортсмена, которая может быть значительно выше за счет вклада в кинетическую энергию бегущего спринтера значительной величины биопотенциальной энергии, реализуемой в фазе контакта спортсмена с покрытием.

При этом ясно, что для увеличения скорости перемещения бегуна (прежде всего его полной кинетической энергии) необходимо соответствующее увеличение биопотенциальной энергии, выделяемой спортсменом в фазе контакта, – это одна биомеханическая задача для спортсмена и его тренера. Необходимо также увеличение и кинетической энергии звеньев его ноги, набираемой в полетных фазах, а чтобы добиться этого, требуется при фиксированном для данного спортсмена значении l увеличивать частоту ω , что представляет собой другую биомеханическую задачу тренировочного процесса. Третьей задачей является получение наилучших для каждого спортсмена пропорций биопотенциальной и кинетической энергий звеньев спортсмена.

Сформулируем определение «быстрота». *Быстрота* — это способность 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.

В движениях циклического характера скорость передвижения непосредственно определяется частотой движений и расстоянием, проходимым за один цикл (длиной «шага»):

$$V = f \cdot l,$$

где V — скорость; f — частота; l — длина «шага».

Быстрота имеет кинематический и динамический аспекты. Чем больше быстрота, тем меньше в кинематическом аспекте время какого-либо движения и больше его скорость, а в динамическом аспекте тем больший импульс или момент импульса развивается спортсменом при данных массах или моментах инерции ускоряемых звеньев за счет увеличения скорости.

Можно сказать, что понятие «быстрота» в динамическом аспекте стыкуется с понятием «сила» посредством скоростно-силовых качеств. В то же время в динамическом аспекте максимальная сила стыкуется со скоростно-силовыми качествами посредством быстрой силы или даже взрывной силы.

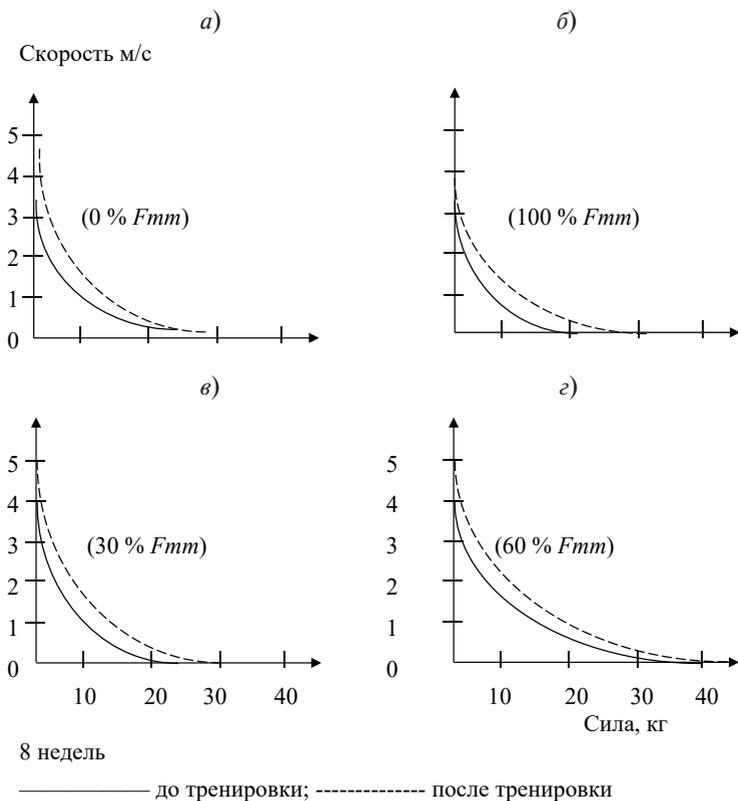


Рис. 28. Изменение параметрических зависимостей «сила – скорость» в модельном движении (сгибание предплечья) под влиянием тренировки разной направленности (по Икаи)

Приведем пояснения к рис. 28:

а) тренировка без использования отягощений (0 % F_{mm}) – максимальная изометрическая сила (F_{mm}) не изменилась; возросли скорость движений (V_m) с малыми отягощениями и скорость движений ненагруженной конечности (V_{mm});

б) изометрическая тренировка (100 % F_{mm}) – выросли F_{mm} и V_m при движении с большими отягощениями, V_{mm} не изменилась;

в, г) тренировка с весами 30 % F_{mm} и 60 % F_{mm} – изменились величины F_{mm} и V_m во всем диапазоне отягощений (включая F_{mm} и V_{mm}).

Существенно, что прирост скорости при движениях со средними сопротивлениями (а такими сопротивлениями в реальных спортивных условиях могут быть, например, вес и масса собственно тела или снаряда) может происходить при разном соотношении прироста силовых и скоростных качеств: в одних случаях (рис. 28, а) — за счет роста скоростных качеств (V_{mm}), в других (рис. 28, б) — за счет роста силовых качеств (F_{mm}).

Какой путь роста скоростных показателей является в тренировке более выгодным, зависит от многих причин (возраста спортсмена, стажа занятий, вида спорта и др.) и в частности от величины сопротивления (в % от F_{mm}), которое приходится преодолевать спортсмену: чем оно больше, тем более важно повышение силовых качеств. Это подтверждается, в частности, величинами непараметрических зависимостей между показателями силовых качеств спортсмена (F_{mm}) и скоростью выполнения движений (V_m) при разных величинах сопротивления. Так, в одном из экспериментов (Ю.И. Смирнов) коэффициенты корреляции были равны: без отягощения — 0,131, с отягощением 1 кг — 0,327, с отягощением 3 кг — 0,630, с отягощением 8 кг — 0,824.

Поэтому чем больше величина преодолеваемого сопротивления, тем выгоднее в тренировке повышать скорость (V_m) за счет роста силовых показателей (F_{mm}).

Выносливостью называется способность противостоять утомлению.

Выносливость — свойство устойчивости биомеханического аппарата системы, заключающееся в сохранении биомеханического аппарата в среднем по времени при выполнении данной двигательной программы своих спектральных свойств.

Утомлением называется вызванное работой временное снижение работоспособности.

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

Утомление при мышечной работе проходит через две фазы:

1) фазу компенсированного утомления — в ней, несмотря на возрастание затруднения, спортсмен сохраняет интенсивность вы-

полнения двигательного задания (например, скорость плавания) на прежнем уровне;

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

Отметим, что свойства устойчивости биомеханического аппарата системы в более широком плане позволяют говорить об устойчивости не только по времени, но и относительно разного рода возмущающих воздействий и динамических режимов, что будет соответствовать, например, силовой выносливости, скоростной выносливости и пр.

Известно, что построение и закрепление навыка, т. е. соответствующее построение и закрепление мышечным аппаратом динамической структуры какого-либо движения, и прежде всего базисная динамическая структура, осуществляются многократным повторением данных динамической структуры и ее базисной динамической структурой. Поэтому сначала необходимо их точно сформировать в данном биомеханическом аппарате спортсмена путем многократного повторения на выносливость. Только близость динамической структуры и биомеханического аппарата спортсмена к оптимальному механизму движения и их устойчивость обеспечивают высокий КПД и устойчивость биомеханического аппарата спортсмена по времени.

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

В этом примере видна причина, обуславливающая два типа показателей выносливости — явные и латентные. Явные (используется также термин «абсолютные») — без учета развития силовых или скоростных качеств; латентные (говорят еще — относительные) — с учетом развития названных качеств, когда их влияние каким-либо образом исключается.

Хотя латентных показателей выносливости существует довольно много, в их основе всегда лежит сравнение эргометрических показателей в данном двигательном задании с достижением в других заданиях.

Примерами латентных показателей выносливости могут быть:

1. Коэффициент выносливости (КВ) — отношение времени преодоления всей дистанции ко времени преодоления какого-либо короткого отрезка (100 м в беге, 50 м в плавании и т. п.):

$$\text{КВ} = t_{\text{д}} : t_{\text{эт}},$$

где $t_{\text{д}}$ — время на дистанции (например, 400 м за 48,0 с); $t_{\text{эт}}$ — лучшее время на коротком (эталонном) отрезке (100 м — 11,0 с).
 $\text{КВ} = 48,9 : 11,0 = 4,3636$.

2. Запас скорости (ЗС) (по Н.Г. Озолину) — разность между средним временем преодоления эталонного отрезка при прохождении всей дистанции и лучшим временем на этом отрезке:

$$\text{ЗС} = t_{\text{д}} : n - t_{\text{эт}},$$

где n — число, показывающее, во сколько раз эталонный отрезок меньше всей дистанции (400 м : 100 м = 4). Вычислим 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 составляет 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.

При формировании выносливости большую роль играют механизмы перехода энергии из различных гармоник источника в полосу программных частот $\omega_{\text{пр}} \pm \omega_{\text{пр}}$. Воспитать выносливость — это значит сформировать и развить механизмы пластичного переключения выделения энергии из одного режима в другой. Отметим, что выяснение механизма динамической структуры представляет собой

сложный комплекс проблем, постановку и решение которых еще предстоит осуществлять.

Перейдем к ловкости. Б.И. Бутенко дает такое определение ловкости: «Ловкость – способность человека управлять проявлением силы во времени и пространстве, т. е. управлять своими движениями».

Воспользуемся существенной частью этого определения, отражающей управление движениями, и постараемся раскрыть в определении ловкости биомеханические особенности управления движениями спортсменом.

Ловкость – свойство высокой адаптивности биомеханического аппарата системы, проявляющееся в быстрой приспособительной изменчивости спектральной плотности биомеханического аппарата, а также в управляемом варьировании значений $\omega_{пр}$ и $\omega_{пр}$.

Отметим, что в среднем физически ловкий человек может не достигнуть специальной ловкости в заданных двигательных программах. И, наоборот, человек, обладающий специальной ловкостью в заданных двигательных программах, может не проявить качества ловкости в непосредственных двигательных программах, так как его биомеханический аппарат обладает определенными спектральными свойствами, оптимальными относительно заданных $\omega_{пр}$ и $\omega_{пр}$.

Гибкость – упругое свойство биомеханического аппарата системы обеспечивать управление с большими пространственными амплитудами движений звеньев спортсмена.

Свойства биомеханического аппарата системы раскрывают не только содержание физических качеств, не только существенную часть техники, но и позволяют дать некоторые физиологические и биомеханические характеристики. Например, свойством биомеханического аппарата спортсмена-прыгуна может служить минимальность энергии диссипации в биомеханическом аппарате в фазе отталкивания или оптимальные баллистические свойства биомеханического аппарата системы прыгуна в воду.

Кроме того, знание свойств биомеханического аппарата системы, можно надеяться, позволит решить проблемы, имеющие большое значение для практики спорта. Среди них – проблема построения биомеханического аппарата системы с заранее заданными свойствами, обеспечивающими рекордный результат, проблема метода бы-

строй настройки биомеханического аппарата системы на частотный диапазон двигательной программы $\omega_{пр} \pm \omega_{пр}$ и некоторые другие.

Выделяют активную и пассивную гибкость. Активная гибкость — это способность выполнять движения в каком-либо суставе с большой амплитудой за счет активности мышечных групп, проходящих через этот сустав (например, амплитуда подъема ноги в равновесии «ласточка»). Пассивная гибкость определяется наивысшей амплитудой, которую можно достичь за счет внешних сил. Показатели пассивной гибкости больше соответствующих показателей активной гибкости. Разница между ними называется *дефицитом активной гибкости*. Он определяется зависимостью «длина — сила тяги» активной мышцы, в частности величиной силы тяги, которую может проявить мышца при своем наибольшем укорочении. Если эта сила недостаточна для дальнейшего перемещения сочленяющихся звеньев тела, то говорят об активной недостаточности мышцы. Экспериментально доказано, 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.

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).

Контрольные вопросы

1. Какие существуют виды равновесия и его устойчивости?
2. Что определяется с помощью угла устойчивости тела?
3. Какой угол устойчивости считается оптимальным?
4. Какая сила необходима для сохранения равновесия тела — изометрическая или анизометрическая?
5. Что такое момент силы?
6. Какие различия имеются между силой тяжести и весом тела?

Задание для самоконтроля и закрепления знаний

Выполните анализ динамических характеристик общего центра массы тела расчетно-аналитическим методом:

- а) определение массы отдельных звеньев тела;
- б) определение центра массы отдельных звеньев тела;
- в) определение моментов сил отдельных звеньев тела;
- г) определение силы тяжести тела;
- д) определение угла устойчивости тела;
- е) определение общего центра массы тела;
- ж) определение площади опоры и распределение сил тяжести тела.

Сделайте выводы по работе.

Инвентарь: миллиметровая бумага, карандаш, транспортир.

ТЕСТЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

Представленные ниже тесты составлены по основным темам учебного курса «Биомеханика двигательных действий». Из всех предлагаемых вариантов ответа на поставленные вопросы необходимо указать только один-единственный правильный ответ.

Тест 1. Кинематические характеристики тела человека

1. Что относится к биомеханическим характеристикам?

- а) количественные показатели механического состояния
- б) качественные показатели механического состояния
- в) механическое состояние биосистемы и его изменения
- г) функциональная зависимость между внутренними и внешними силами

2. Что означает понятие «система отсчета расстояния»?

- а) движение человека и спортивных снарядов
- б) установление единиц отсчета
- в) начало и направление измерения расстояния
- г) условно выбранное твердое тело, по отношению к которому определяют положение других тел в разные моменты времени

3. Что позволяют определить пространственные характеристики?

- а) время движения
- б) траекторию точки
- в) скорость точки
- г) нет правильного ответа

4. Что показывают временные характеристики?

- а) траекторию точки
- б) особенности движения тела
- в) скорость точки
- г) нет правильного ответа

5. Какие характеристики движения тела изучает кинематика?

- а) ритмические
- б) временные
- в) пространственные
- г) силовые

6. Что означает понятие «биокинематические пары»?

- а) угловые характеристики движения
- б) соединение двух соседних звеньев
- в) степени свободы движения
- г) моменты пары сил

7. Что означает понятие «биомеханическая система»?

- а) строение и функции биомеханической системы двигательного аппарата
- б) механическая энергия системы двигательного аппарата
- в) потенциальная энергия системы двигательного аппарата
- г) упрощенная копия, модель тела человека, на которой можно изучать закономерности движений

8. Что означает понятие «биокинематическая цепь»?

- а) соединение ряда биокинематических пар
- б) степени свободы движения
- в) соединение двух соседних звеньев
- г) движение человека в пространстве

9. Что является общей задачей изучения движений?

- а) оценка эффективности приложенных сил для более совершенного достижения поставленной цели
- б) определение взаимосвязи биологических и педагогических закономерностей
- в) анализ механической энергии движения
- г) оценка двигательной деятельности человека

10. Что относится к особенностям механического движения человека?

- а) двигательная деятельность, двигательные действия, движения
- б) пространственные характеристики
- в) временные характеристики
- г) движение человека в процессе физических упражнений

11. Что включает состав системы движений?

- а) элементы системы, те движения, из которых она состоит
- б) пространственные элементы и их системы
- в) энергетическое обеспечение движений
- г) показатели опорно-двигательной системы

12. Что означает понятие «обобщенные структуры»?

- а) закономерности взаимосвязей разных сторон действия
- б) совокупность команд к мышцам и другим органам для управления выполнением движений и их энергетическим обеспечением
- в) кинематические, динамические и энергетические характеристики
- г) система двигательных действий

13. Что рассматривают информационные структуры?

- а) закономерности взаимосвязей между элементами информации, без которых невозможно управление движениями
- б) совокупность средств информации
- в) содержание информации о движениях и требованиях к ним
- г) информационное поле о простых и сложных формах движения материи

14. Что входит в понятие «двигательная структура»?

- а) согласованность движений в пространстве и во времени
- б) закономерности взаимосвязи движений в пространстве и во времени, а также силовых и энергетических взаимодействий в системе движений
- в) скорость движения в данный момент времени и в данной точке траектории
- г) мера соотношения различных частей движений

15. Что такое момент времени?

- а) временная мера положения точки тела и системы
- б) скорость двигательного аппарата
- в) единица измерения механической энергии системы
- г) все ответы правильны

16. Что следует отнести к понятию «особенности механического движения человека»?

- а) двигательную деятельность человека, осуществляемую в виде двигательных действий, которые организованы из многих взаимосвязанных движений
- б) модель тела человека, на которой можно изучать закономерности движений
- в) техническое совершенствование спортсмена
- г) кинематические характеристики тела человека и его движений

17. Что означает понятие «биомеханические характеристики тела человека и его движений»?

- а) меры механического состояния биосистемы и его изменения
- б) двигательные действия, которые организованы из многих взаимосвязанных движений
- в) соединение ряда биокинематических пар
- г) совокупность двигательных возможностей человека

18. Что означает понятие «двигательное качество»?

- а) отдельные качественно различные стороны моторики человека
- б) совокупность двигательных действий
- в) функция двигательной системы
- г) сила, быстрота, выносливость, ловкость, гибкость

19. Какие виды физического утомления существуют?

- а) снижение мышечной силы
- б) повышение пульса
- в) компенсированное и декомпенсированное утомление
- г) медленное и быстрое утомление

20. Какие типы дыхания существуют?

- а) анатомическое
- б) искусственное
- в) грудное, брюшное, смешанное
- г) внешнее и физиологическое

21. Что такое моторика?

- а) совокупность двигательных возможностей
- б) ловкость рук
- в) физическая работоспособность
- г) снижение физических возможностей человека

22. Что такое онтогенез моторики?

- а) сила, быстрота, выносливость, ловкость, гибкость
- б) изменение двигательных возможностей человека в процессе его жизни
- в) отказ от мышечной деятельности
- г) статическая и динамическая нагрузка

23. В каких формах проявляется быстрота?

- а) в игровых формах
- б) в мгновенных действиях
- в) в латентном времени реакции, времени одиночного движения и частоте движения
- г) в максимальной скорости

24. Что означает понятие «быстрота»?

- а) коррекция движения и переработка информации
- б) сохранение максимальной скорости в течение тренировки
- в) способность человека совершать двигательные действия в минимальный для данных условий отрезок времени
- г) противостояние организма возрастающему утомлению

25. Что такое динамика скорости?

- а) изменение скорости движущегося тела
- б) время достижения максимальной силы
- в) время одиночного движения
- г) развитие ловкости

26. По какой формуле определяется скорость передвижения?

- а) $v = f \cdot l$
- б) $v = f : l$
- в) $v = M \cdot a$
- г) правильного ответа нет

27. Какое из физических качеств спортсмена сложно поддается развитию?

- а) быстрота
- б) сила
- в) выносливость
- г) гибкость
- д) ловкость

28. Какие виды двигательной реакции существуют?

- а) простые и сложные
- б) мгновенные
- в) премоторные
- г) замедленные

29. В сложных двигательных реакциях различают

- а) сенсорную, премоторную, моторную фазы
- б) скоростную выносливость
- в) латентное время реакции
- г) интенсивность работы

30. Что такое премоторная фаза в сложных двигательных реакциях?

- а) время от появления электрической активности мышц до начала движения
- б) время одиночного движения
- в) время от начала мышечных сокращений до их завершения
- г) время между сокращением и расслаблением мышц

31. Что составляет основу эргометрии?

- а) интенсивность, объем, время выполнения задания
- б) биомеханические характеристики тела человека и его движений
- в) меры механического состояния биосистемы и его изменения
- г) силовые возможности биосистемы

32. Что входит в содержание понятия «объем двигательного задания»?

- а) пройденное расстояние, выполненная работа, импульс силы
- б) количество выполняемых тренировочных упражнений
- в) мощность физической работы
- г) кинематические характеристики тела человека и его движений

33. Что такое эргометрия?

- а) совокупность количественных методов измерения физической работоспособности
- б) совокупность качественных методов измерения
- в) система соотношений частей двигательных действий
- г) комплекс двигательных качеств

34. Чем измеряется интенсивность выполняемого двигательного задания?

- а) скоростью спортсмена, мощностью, силой
- б) минимальной скоростью в течение тренировки

- в) способностью человека совершать двигательные действия в минимальный отрезок времени
- г) противостоянием организма возрастающему утомлению

35. Что такое латентное время реакции?

- а) время коррекции движения и переработки информации
- б) время от момента появления сигнала до его восприятия
- в) время двигательного действия
- г) время от момента начала движения до его завершения

36. К какому виду быстроты относится моторная фаза?

- а) частоте движения
- б) двигательной реакции
- в) мощности физической работы
- г) интенсивности работы

37. Что такое параметр?

- а) переменная величина, которая в условиях конкретной рассматриваемой задачи остается постоянной
- б) качественный показатель движений
- в) количественный показатель движений
- г) постоянная величина, которая в условиях конкретной рассматриваемой задачи остается постоянной

38. Что означает понятие «перемещение движения»?

- а) движение, задача которого — перемещение какого-либо тела
- б) совокупность двигательных действий
- в) функция двигательной системы
- г) скорость перемещаемого тела

39. Как определяется условие равновесия тела и системы тел?

- а) качеством различных сторон моторики человека
- б) реакцией опоры
- в) влиянием внутренней и внешней силы на тело и системы тел
- г) позой, местоположением, ориентацией относительно системы отсчета, отношением к опоре

40. Что влияет на сохранение и восстановление положения тела человека в пространстве?

- а) угол устойчивости
- б) площадь опоры

- в) направление силы
- г) все ответы правильны

41. От чего зависит движение человека?

- а) от строения тела и его свойств
- б) от развития силы мышц
- в) от функции вестибулярных анализаторов
- г) от выносливости мышц

42. От чего зависит подвижность в суставах?

- а) от характера костных рычагов и связей
- б) от строения мышечной системы
- в) от формы рычагов
- г) нет правильных ответов

43. Какая часть тела расположена во фронтальной плоскости?

- а) передние и задние отделы тела
- б) только передние отделы тела
- в) только задние отделы тела
- г) мышечные отделы тела

44. Скоростно-силовой индекс равен

- а) косинусу угла
- б) тангенсу угла
- в) синусу угла
- г) котангенсу угла

45. Различают следующие виды степени свободы:

- а) замкнутые степени свободы
- б) незамкнутые степени свободы
- в) антагонистические связи
- г) костные связи

46. Какая часть тела расположена в сагитальной плоскости?

- а) левая половина тела
- б) правая половина тела
- в) левая и правая половины тела и горизонтальная плоскость
- г) горизонтальная плоскость тела

47. Какую функцию выполняет позвоночный столб?

- а) функцию опоры
- б) двигательную функцию
- в) сократительную функцию
- г) развивающую функцию

48. Какую функцию выполняет угол устойчивости тела?

- а) функцию сохранения равновесия
- б) функцию повышения скорости
- в) функцию развития силы мышц
- г) функцию мощности физической работы

49. При каких внешних воздействиях костная система оказывает большую прочность?

- а) при сжатии
- б) при растяжении
- в) при деформации
- г) при сгибах

50. Под действием каких сил осуществляется движение человека?

- а) внутренних сил
- б) внешних сил
- в) внутренних и внешних сил
- г) нет правильного ответа

51. Что такое прочность тела?

- а) жесткость мышц
- б) способность тела выполнять двигательную функцию
- в) способность тела сопротивляться разрушению под действием приложенных к нему внешних сил
- г) способность тела сопротивляться разрушению под действием приложенных к нему внутренних сил

52. Что такое деформация?

- а) изменение форм и размеров тела
- б) изменение жесткости тела
- в) изменение упругости тела
- г) изменение прочности тела

53. Что такое утомление?

- а) временное повышение работоспособности системы
- б) временное снижение работоспособности организма
- в) противостояние организма утомлению
- г) скорость сокращения мышц

54. Что такое жесткость тела?

- а) способность тела сопротивляться деформации при действии внешней силы
- б) способность тела преодолевать внешние силы
- в) способность тела развивать подвижность
- г) способность тела сохранять степень свободы звеньев

55. Что такое рекуперация энергии?

- а) восстановление энергии
- б) расход энергии
- в) развитие силы
- г) утомление организма

56. Что такое длительность движения?

- а) временная мера повторности движения
- б) скорость сокращения мышц
- в) временная мера движения тела
- г) сложное время реакции

57. Что такое упругость тела?

- а) способность тела принимать после снятия нагрузки первоначальную форму или размеры
- б) объем динамической нагрузки
- в) способность тела сопротивляться деформации при действии внешней силы
- г) способность тела принимать повышенную нагрузку

58. Что такое остаточная деформация?

- а) изменение форм и размеров тела, которые сохраняются после снятия нагрузки
- б) изменение форм и размеров тела, которые не сохраняются после снятия нагрузки
- в) динамика силовых способностей системы
- г) изменение общей и специальной выносливости

59. Из чего образуются составные движения в биокинематических цепях?

- а) из нескольких составляющих движений звеньев в сочленениях биокинематической цепи
- б) из нескольких составляющих мышц-антагонистов
- в) из нескольких составляющих пары сил
- г) из парных звеньев

60. Какие виды спорта требуют развития быстроты одиночного движения?

- а) метание, прыжки
- б) спринтерский бег
- в) футбол
- г) стайерский бег

61. Какие характеристики техники физических упражнений поддаются визуальной оценке?

- а) кинематические
- б) динамические
- в) энергетические
- г) силовые

62. Какие виды спорта требуют развития частоты движения?

- а) футбол
- б) стайерский бег
- в) мотоспорт
- г) спринтерский бег

63. Какой раздел биомеханики изучает траекторию движения точки?

- а) энергетика
- б) моторика
- в) ускорение
- г) кинематика

64. Какие биомеханические характеристики изучают координаты точки тел?

- а) пространственные
- б) временные

- в) скоростные
- г) динамические

65. Дайте определение понятию «стандартизация».

- а) соотношение произвольности и автоматизации в управлении
- б) определение параметрических характеристик
- в) обеспечение единых требований к современной наиболее рациональной технике
- г) сохранение неизбежных отклонений элементов и структур техники физического упражнения

66. Сила, действующая статически, уравновешена другой силой и вызывает не ускорение, а только

- а) увеличение упругости тела
- б) развитие выносливости организма
- в) деформацию тела
- г) напряжение тела

67. Как определяется скорость тела?

- а) по скорости его точек
- б) по пространственным положениям точек
- в) по угловым характеристикам
- г) по объему мышц

68. Индивидуализация означает

- а) формирование индивидуальной системы подготовки спортсмена
- б) приспособление техники к особенностям спортсмена и развитие его функциональных возможностей соответственно требованиям техники
- в) развитие индивидуальных особенностей спортсмена
- г) выявление индивидуальных способностей спортсмена

69. Средней скоростью называется

- а) скорость, с которой точка в равномерном движении за то же время прошла бы весь рассматриваемый путь
- б) скорость всех точек, находящихся на траектории
- в) линейная скорость движущегося тела
- г) сумма мгновенной и угловой скорости точки

70. Если движущие силы больше тормозящих, то разность между ними составляет

- а) отклоняющую силу
- б) возвращающую силу
- в) замедляющую силу
- г) ускоряющую силу

71. Определите понятие «дифференциация».

- а) различение в целой системе множества неоднородных составных частей специализацией элементов системы движений и определением их роли
- б) объединение множества движений в единое целое на основе их взаимодействия при подчинении всех частных единой цели действия
- в) разделение общей и специальной выносливости
- г) разделение системы внешних и внутренних воздействий

72. Как определяется мгновенная скорость?

- а) скоростью в данный момент времени или в данной точке траектории
- б) пространственно-временной мерой движения точки
- в) средней скоростью в данный момент времени
- г) частотой движения

73. Понятие «вариативность» означает

- а) изменение исполнения техники физического упражнения
- б) коррекцию структуры движения
- в) изменение требований к современной технике
- г) отклонение элементов и структур техники физического упражнения

74. Какую функцию выполняет средняя скорость?

- а) определяет расстояние от точки тела до оси вращения
- б) позволяет сравнивать неравномерные движения
- в) определяет частоту движения
- г) правильные ответы – а) и б)

75. Какие системы способны сохранить равномерную скорость?

- а) живые системы
- б) неживые системы

- в) природные системы
- г) двигательная система

76. Как определяются показатели угловой скорости тела?

- а) при вращательном движении определяют угловую скорость тела как меру быстроты изменения его углового положения
- б) местоположением точки относительно системы отсчета
- в) по пространственным положениям точки
- г) угловую скорость тела не определяют

77. Как измеряется перемещение тела при поступательном и вращательном движении?

- а) перемещение тела при поступательном и вращательном движении измеряется различно
- б) перемещение тела при поступательном и вращательном движении измеряется одинаково
- в) определяется по скорости его точек
- г) определяется по пространственным положениям точек

78. Скорость по величине будет постоянна, если касательное ускорение

- а) больше нуля
- б) меньше нуля
- в) равно нулю
- г) правильного ответа нет

79. Составляющими векторами ускорения являются

- а) касательное и нормальное ускорение
- б) касательное и линейное ускорение
- в) нормальное и угловое ускорение
- г) угловое и линейное ускорение

80. С увеличением скорости вращения и кривизны траектории центростремительное ускорение

- а) убывает
- б) возрастает
- в) не изменяется
- г) то возрастает, то убывает

81. Как осуществляются двигательные действия?

- а) при помощи произвольных активных движений, вызванных и управляемых работой мышц
- б) при помощи непроизвольных активных движений, вызванных и управляемых работой мышц
- в) при помощи произвольных и непроизвольных активных движений, вызванных и управляемых работой мышц
- г) при помощи произвольных активных движений, вызванных и управляемых работой костной системы

82. Момент внешней силы, приложенной к звену, вызывает его угловое ускорение

- а) обратно пропорциональное моменту инерции звена относительно оси вращения
- б) прямо пропорциональное моменту инерции звена относительно оси вращения
- в) независимо от момента инерции звена относительно оси вращения
- г) правильного ответа нет

83. От чего зависят особенности движений?

- а) от объекта движений
- б) от техники и тактики физических упражнений
- в) от функции организма
- г) от времени движения

84. В каком случае тело не изменяет своего положения?

- а) если главный момент и главный вектор системы сил больше нуля
- б) если главный момент и главный вектор системы сил меньше нуля
- в) если главный момент системы сил равен главному вектору
- г) если главный момент и главный вектор системы сил равны нулю

85. Механическое движение человека происходит

- а) под воздействием внешних механических сил и сил тяги мышц
- б) под воздействием внутренних механических сил и сил тяги мышц
- в) под воздействием внешних и внутренних механических сил и сил тяги мышц
- г) под воздействием сил тяги мышц

86. Предметом механики как науки является

- а) изучение изменений внутренних сил под воздействием внешних
- б) изучение изменений пространственного расположения тел и тех причин, или сил, которые вызывают эти изменения
- в) изучение особых законов механики для спортсменов
- г) изучение биологических и социальных факторов, влияющих на двигательную деятельность человека

87. Если траектория является дугой окружности, то ее радиус кривизны

- а) не определяется
- б) непостоянный
- в) определяется по пространственным положениям точки
- г) постоянный

88. Траектория точки – это

- а) соединение двух соседних точек
- б) угловой коэффициент кривой движения точки
- в) непрерывная линия, воображаемый след движущейся точки
- г) координатная плоскость двух переменных

89. Ориентацию для прямолинейной траектории определяют

- а) по координатам точек начального и конечного положений
- б) по координатам точек начального и конечного положений и третьей точки, не лежащей с ними на одной прямой линии
- в) по координатам точек основного положения
- г) по координатам любых точек

90. Что показывает перемещение точки?

- а) в каком направлении и на какое расстояние сместилась точка
- б) форму движения точки
- в) скорость движения точки
- г) расстояние, на которое перемещается точка

91. Как находят перемещение точки?

- а) по сумме координат точки в моменты начала и окончания движения
- б) по разности координат точки в моменты начала и окончания движения

- в) на основе соотношения различных координат точки
- г) путем определения скорости перемещения точки

92. Методом биомеханики спорта является

- а) индуктивный метод
- б) дедуктивный метод
- в) функциональный метод
- г) диалектический метод

93. Скорость шагательных движений измеряется

- а) произведением пути и времени, затраченного на этот путь
- б) отношением пути ко времени, затраченному на этот путь
- в) количеством времени, затраченного в пути
- г) количеством шагов в единицу времени

94. Среди перемещающих движений различают движения

- а) с ударным взаимодействием
- б) с колебательным вращением
- в) с разгоном перемещаемых тел
- г) правильные ответы – а) и б)

95. Изменение скорости тела за время удара

- а) прямо пропорционально ударному импульсу и прямо пропорционально массе тела
- б) прямо пропорционально ударному импульсу и обратно пропорционально массе тела
- в) обратно пропорционально ударному импульсу и обратно пропорционально массе тела
- г) зависит только от ударного импульса

96. Коэффициент восстановления равен

- а) произведению скоростей взаимодействующих тел после и до удара
- б) разнице между скоростями взаимодействующих тел после и до удара
- в) сумме скоростей взаимодействующих тел после и до удара
- г) отношению скоростей взаимодействующих тел после и до удара

97. Укажите основные факторы, под действием которых изменяется эффективность техники.

- а) изменение состояния спортсмена
- б) действия противника
- в) изменение внешних условий
- г) все ответы правильные

98. Обратная пропорциональную зависимость между силой тяги и скоростью изменения показывает

- а) уравнение регрессии
- б) коэффициент корреляции
- в) уравнение Хилла
- г) коэффициент детерминации

99. Какое количество мышц имеет человек?

- а) 470
- б) 547
- в) 892
- г) 627

Тест 2. Динамические характеристики тела человека

1. Сохранение положения и движения звена как рычага зависит

- а) от соотношения противоположно действующих сил
- б) от силы мышц-синергистов
- в) от момента силы
- г) от функции биокинематических пар

2. Какие характеристики изучает раздел «Динамика»?

- а) инерционные, силовые, энергетические
- б) пространственные
- в) скоростные
- г) механические движения в живой системе

3. Сила тяги мышцы

- а) зависит от ее возбуждения и длины
- б) не зависит от ее возбуждения и длины
- в) зависит от мощности костей
- г) зависит от массы тела

4. В абсолютно твердом теле ускорение всего тела и всех его частиц возникает

- а) в особых моментах
- б) в момент расслабления мышц
- в) в момент отсутствия приложенной силы
- г) в момент приложения внутренних и внешних сил

5. Какой раздел биомеханики изучает такое свойство тела, как инертность?

- а) кинематика
- б) динамика
- в) энергетика
- г) все разделы биомеханики

6. Как измеряется масса физических тел?

- а) отношением величины приложенной силы к вызываемому ею ускорению
- б) произведением массы тела на его ускорение, вызванное данной силой
- в) произведением модуля силы на ее плечо
- г) минимальным расходом энергии системы

7. Что относят к внешним силам?

- а) мышечные сокращения
- б) реакция опоры и аэродинамическое сопротивление воздуха, воды
- в) суставные трения
- г) нет правильного ответа

8. Что вы понимаете под инертностью?

- а) свойство физических тел, проявляющееся в постепенном изменении скорости с течением времени под действием сил
- б) свойство физических тел, проявляющееся в быстром изменении скорости с течением времени под действием сил
- в) свойство физических тел, проявляющееся в постепенном изменении скорости с течением времени при отсутствии воздействия сил
- г) нет правильного ответа

9. В каком законе Ньютона раскрывается свойство инертности?

- а) в первом законе
- б) во втором законе
- в) в третьем законе
- г) во всех законах

10. Что вы понимаете под массой тела?

- а) тело человека и костные рычаги
- б) тело человека
- в) живые системы
- г) мера инертности тела при поступательном движении

11. Измерение массы тела основано

- а) на первом законе Ньютона
- б) на втором законе Ньютона
- в) на третьем законе Ньютона
- г) на законах развития природы

12. Внутренние силы возникают при взаимодействии

- а) частей тела человека друг с другом
- б) частей тела человека с внешней силой
- в) внешних и контактных сил
- г) дистантных и контактных сил

13. Что вы понимаете под силой упругой деформации?

- а) меру действия деформированного тела на другие тела, вызывающие эту деформацию
- б) меру действия недеформированного тела на другие тела
- в) меру действия внешнего тела на внутренние силы
- г) силу тяжести внешнего тела

14. От массы Земли и притягиваемого ею тела зависит

- а) сила инерции внешнего тела
- б) сила упругой деформации
- в) сила тяжести
- г) сила действия среды

15. Упругие силы зависят

- а) от коэффициента жесткости тела
- б) от коэффициента полезного действия силы

- в) от коэффициента восстановления
- г) от коэффициента реактивности

16. Что такое момент инерции тела?

- а) пространственно-временная мера
- б) мера инертности тела при вращательном движении
- в) мера быстроты изменения угловой скорости тела
- г) мера инертности тела при поступательном движении

17. Дайте определение понятию «момент силы».

- а) мера действия деформированного тела на другие тела, не вызывающие эту деформацию
- б) мера поступательного движения тела, характеризующая его способность передаваться другому телу в виде механического движения
- в) мера воздействия внешней среды на тело
- г) мера вращательного действия силы на тело

18. С уменьшением длины мышцы сила ее тяги

- а) возрастает
- б) не изменяется
- в) падает
- г) колеблется

19. Что такое релаксация?

- а) избыток мышечной энергии
- б) скорость сокращения мышц
- в) изменение силы тяжести в течение определенного периода времени
- г) снижение силы упругой деформации с течением времени

20. От каких факторов зависят механические характеристики сокращения мышц?

- а) от развития гибкости
- б) от выносливости мышц
- в) от величины сопротивления
- г) от момента силы

21. Разновидности работы мышц определяются:

- а) свойствами внешних тел
- б) сочетанием изменений их силы тяги и длины
- в) положениями тела
- г) пространственно-временными характеристиками

22. Рабочие тяги мышц – это

- а) статическая работа мышц
- б) динамическая работа мышц
- в) динамическая и статическая работа мышц
- г) утомительная работа мышц

23. При разборе движения звена вокруг оси приложенные вдоль радиуса силы

- а) ускоряют вращение
- б) замедляют вращение
- в) искривляют траекторию вращения
- г) не изменяют траекторию вращения

24. При разборе движения звена вокруг оси приложенные перпендикулярно к нему силы

- а) ускоряют или замедляют вращение
- б) искривляют траекторию вращения
- в) не изменяют траекторию вращения
- г) не учитываются

25. Когда гимнаст при свободном качании в висячем положении на перекладине движется вниз, то момент силы тяжести тела относительно оси перекладины

- а) замедляет движение
- б) ускоряет движение
- в) не изменяет движения
- г) невозможно определить

26. Чем достигается управление движениями вокруг осей с изменением кинематического момента?

- а) приложением внешней силы
- б) изменением условий действия внешней силы при закрепленной оси

- в) активным созданием момента внешней силы
- г) все ответы правильны

27. Какого вида равновесия тела не существует?

- а) безразличное равновесие
- б) неустойчивое равновесие
- в) устойчивое равновесие
- г) критическое равновесие
- д) ограниченно-устойчивое

28. Статический показатель устойчивости определяется

- а) коэффициентом устойчивости
- б) углом устойчивости
- в) коэффициентом корреляции
- г) силой действия среды

29. Осанку, сохраняемую при неизменных условиях, называют

- а) динамической
- б) статической
- в) совершенной
- г) несовершенной

30. В преодолевающих движениях суммарная тяга мышц направлена

- а) в неопределенную сторону
- б) на центр массы тела
- в) в сторону движения звена
- г) в противоположную сторону

31. Управление движениями вокруг осей с изменением кинетического момента биомеханической системы осуществляется

- а) моментами внешних сил
- б) моментами внутренних сил
- в) моментами внешних и внутренних сил
- г) мощностью силы

32. В уступающих движениях суммарная тяга мышц направлена

- а) в неопределенную сторону
- б) на центр массы тела

- в) в сторону движения звена
- г) в противоположную сторону

33. Осанку, сохраняемую при переменных условиях, называют

- а) динамической
- б) статической
- в) совершенной
- г) несовершенной

34. Динамический показатель устойчивости определяется

- а) коэффициентом устойчивости
- б) коэффициентом корреляции
- в) углом устойчивости
- г) топографией мышц

35. Дайте определение понятию «сила действия человека».

- а) это сила воздействия на внешнее физическое окружение, передаваемого через рабочие точки тела
- б) это превращение и преобразование одних видов энергии в другие
- в) это сила воздействия на внутреннее физическое окружение, передаваемого через рабочие точки тела
- г) это сила тяжести и вес человека

36. Какие силы являются тормозящими при движении?

- а) внутренние силы пассивного взаимодействия
- б) все внешние и внутренние силы, в том числе мышечные
- в) мышечные силы
- г) дистантные силы

37. Какие мышцы участвуют при сгибании туловища вперед?

- а) наружные косые мышцы живота
- б) камбаловидные мышцы
- в) большеберцовые мышцы
- г) наружные и внутренние косые мышцы, прямые мышцы и пояснично-подвздошные

38. В каком случае работа считается динамической?

- а) когда внутренние и внешние силы равны
- б) когда внутренние и внешние силы неравны

- в) когда мышцы напряжены
- г) когда мощность работы снижается

39. Какую функцию выполняют мышцы?

- а) опорную
- б) скоростную
- в) двигательную
- г) правильного ответа нет

40. При равновесной длине мышцы ее упругие силы

- а) больше нуля
- б) меньше нуля
- в) равны нулю
- г) правильного ответа нет

41. Режим работы мышц считается уступающим, если

- а) длина мышц увеличивается
- б) мышцы пребывают в напряжении
- в) длина мышц уменьшается
- г) объем мышц увеличивается

42. Какие мышцы являются разгибателями стопы?

- а) трехглавая мышца голени
- б) малоберцовые мышцы
- в) дельтовидные мышцы
- г) передняя большеберцовая мышца

43. Что является основной динамической функцией нижних конечностей?

- а) передвижение туловища в пространстве
- б) развитие выносливости
- в) рациональная техника ходьбы
- г) создание модели движения

44. Когда работа считается статической?

- а) когда движение выполняется быстро
- б) когда движение выполняется медленно
- в) когда внутренние и внешние силы равны
- г) когда внутренние и внешние силы неравны

45. При длине мышцы выше равновесной ее сила при сокращении будет

- а) больше
- б) меньше
- в) неизменной
- г) меняться незначительно

46. Длиной покоя называют длину мышцы, при которой сила контрактивных компонентов

- а) падает
- б) максимальна
- в) минимальна
- г) неизменна

47. Если величина натяжения мышцы равна внешнему сопротивлению, то длина мышцы

- а) изменяется несущественно
- б) изменяется существенно
- в) не изменяется
- г) колеблется

48. Что означает понятие «внутренние силы»?

- а) силу упругости мышц
- б) силу реакции опоры
- в) силу сцепления между всеми смежными частями тела
- г) силу сопротивления воздуха, воды

49. При преодолевающем режиме работы мышц

- а) длина мышц увеличивается
- б) мышцы находятся в состоянии покоя
- в) длина мышц уменьшается
- г) объем мышц увеличивается

50. Укажите формулу для вычисления силы инерции внешнего тела.

- а) $F = -ma$
- б) $F = ma$
- в) $F = m : a$
- г) $F = \Delta m \cdot \Delta a$

51. Укажите формулу для вычисления динамики скорости тела.

- а) $v = f(t)$
- б) $v = f(l)$
- в) $v = f(m)$
- г) правильные ответы – а) и б)

52. Если в каждом цикле колебательных движений восполняемой энергии оказывается больше, чем потерянной, то возникает

- а) изометрический режим
- б) резонансный режим
- в) изотонический режим
- г) стабильный режим

53. Что такое сила инерции внешнего тела?

- а) это дистантная сила
- б) это сила, которая возникает при движении тела человека
- в) это мера действия на тело человека со стороны внешнего тела, ускоряемого человеком
- г) это энергия, возникающая при движении тела

Тест 3. Энергетические характеристики тела человека

1. Что такое параллельные упругие компоненты?

- а) это соединительнотканые образования, составляющие оболочку мышечных волокон и их пучков
- б) это сухожилия мышцы, места перехода миофибрилл в соединительную ткань
- в) это отдельные участки саркомеров мышцы, где активные и миозиновые миофиламенты перекрывают друг друга.
- г) правильного ответа нет

2. Энергетика возвратных движений включает

- а) фазу прямого движения
- б) фазу обратного движения
- в) фазу кривого движения
- г) фазу прямого и обратного движения

3. Длина, которую стремится принять мышца, будучи освобожденной от всякой нагрузки, называется

- а) максимальной
- б) минимальной
- в) равновесной
- г) независимой

4. Длиной покоя называют

- а) длину мышцы, при которой сила контрактильных компонентов минимальна
- б) длину мышцы, при которой сила контрактильных компонентов максимальна
- в) длину мышцы, при которой сила контрактильных компонентов отсутствует
- г) равновесную длину мышцы

5. Что означает понятие «энергия»?

- а) запас работоспособности системы
- б) время сокращения мышц
- в) оптимальную биомеханическую систему
- г) систему движений

6. Работа против внешних сил идет за счет

- а) уменьшения механической энергии с увеличением кинетической энергии внешних сил
- б) уменьшения механической энергии с уменьшением кинетической энергии внешних сил
- в) увеличения механической энергии с увеличением потенциальной энергии внешних сил
- г) увеличения механической энергии с увеличением энергии внешних сил

7. Какой вид энергии расходуется на механические движения?

- а) кинетическая энергия
- б) потенциальная энергия упругодеформированных мышц
- в) энергия вращательного движения
- г) энергия плоско-параллельного движения

8. Если величина натяжения мышцы равна внешнему сопротивлению, то длина мышцы

- а) увеличивается
- б) уменьшается
- в) не изменяется
- г) не определяется

9. Если величина натяжения мышцы превышает внешнее сопротивление, то длина мышцы

- а) увеличивается
- б) уменьшается
- в) не изменяется
- г) не определяется

10. Если величина натяжения мышцы меньше внешних сил, то длина мышцы

- а) увеличивается
- б) уменьшается
- в) не изменяется
- г) не определяется

11. Если при натяжении мышцы, превосходящем внешнее сопротивление, мышца укорачивается, то такой режим мышечного сокращения называют

- а) изометрическим
- б) анизометрическим
- в) преодолевающим
- г) уступающим

12. Режим, при котором сила мышцы не остается постоянной, называют

- а) изометрическим
- б) анизометрическим
- в) изотоническим
- г) анизотоническим

13. Релаксация — это:

- а) снижение силы упругой деформации с течением времени
- б) возрастание силы упругой деформации с течением времени

- в) неизменность силы упругой деформации с течением времени
- г) изменение силы тяжести с течением времени

14. Какие изменения происходят при увеличении нагрузки (сопротивления, веса груза)?

- а) латентный период увеличивается
- б) величина изменения длины мышцы (укорочения) уменьшается
- в) скорость укорочения падает
- г) все ответы правильны

15. Режим сокращения со сменой направления движения и с переходом от уступающего к преодолевающему называют

- а) изометрическим
- б) анизометрическим
- в) реверсивным
- г) изотоническим

16. В анизометрическом режиме мощность равна

- а) нулю
- б) единице
- в) произведению силы на скорость изменения длины мышцы
- г) отношению силы к скорости изменения длины мышцы

17. Отношение выполненной работы к общим затратам энергии называется

- а) коэффициентом восстановления
- б) коэффициентом полезного действия
- в) коэффициентом эффективности мышечной работы
- г) коэффициентом выносливости

18. Сила тяги мышц не зависит

- а) от механических условий
- б) от анатомических условий
- в) от технических условий
- г) от физиологических условий

19. Основным механическим условием проявления тяги мышц является

- а) строение мышцы
- б) нагрузка на мышцу

- в) расположение мышцы
- г) скорость сокращения мышцы

20. Что является основным анатомическим условием проявления тяги мышц?

- а) строение и расположение мышцы
- б) нагрузка на мышцу
- в) скорость сокращения мышцы
- г) все ответы правильны

21. Какую работу выполняет мышца против нагрузки?

- а) уступающую работу
- б) преодолевающую работу
- в) статическую работу
- г) изометрическую работу

22. Мышцы-синергисты — это мышцы

- а) совместного действия
- б) противоположного действия
- в) совместного и противоположного действия
- г) неполного действия

23. Какую функцию выполняет физиологический поперечник мышцы?

- а) определяет суммарную тягу всех волокон с учетом их взаимного расположения
- б) определяет относительную тягу всех волокон с учетом их взаимного расположения
- в) определяет суммарную тягу всех волокон без учета их взаимного расположения
- г) определяет относительную тягу всех волокон без учета их взаимного расположения

24. Что является основным физиологическими условием проявления тяги мышцы?

- а) строение мышцы
- б) нагрузка на мышцу
- в) возбуждение и утомление мышц
- г) расположение мышцы

25. Какую работу выполняет мышца при отсутствии нагрузки?

- а) уступающую работу
- б) преодолевающую работу
- в) статическую работу
- г) изометрическую работу

26. Что показывают энергетические характеристики системы?

- а) как меняются виды энергии при движениях
- б) как протекает сам процесс изменения энергии
- в) как образуется энергия
- г) правильные ответы — а) и б)

27. Для того чтобы определить положение ОЦМ тела, используют

- а) экспериментальный, или расчетный, метод
- б) нормативный, или диагностический, метод
- в) корреляционный метод
- г) только диагностический метод

28. Для того чтобы определить расчетным путем координаты ЦМ тела человека, не следует изучать

- а) положение отдельных звеньев тела
- б) вес отдельных звеньев тела
- в) положение ЦМ отдельных звеньев тела
- г) точки опоры тела

29. Если сила направлена в сторону движения, то она

- а) совершает положительную работу, не увеличивая энергию движущегося тела
- б) совершает положительную работу, увеличивая энергию движущегося тела
- в) совершает отрицательную работу, увеличивая энергию движущегося тела
- г) совершает отрицательную работу, не увеличивая энергию движущегося тела

30. Подвод энергии в биомеханическую систему совершается в результате

- а) превращения химической энергии в механическую потенциальную напряженной мышцы

- б) перехода работы внешних сил в кинетическую энергию биомеханической системы
- в) перехода работы внешних сил в потенциальную энергию деформированных мышц и перемещаемого тела
- г) все перечисленные ответы правильны

31. Когда сила направлена навстречу движению, то

- а) работа силы отрицательная и энергия движущегося тела увеличивается
- б) работа силы отрицательная и энергия движущегося тела уменьшается
- в) работа силы положительная и энергия движущегося тела уменьшается
- г) работа силы положительная и энергия движущегося тела увеличивается

32. К разновидностям проявления скоростных качеств не относится

- а) скорость одиночного движения
- б) частота движений
- в) направление движений
- г) латентное время реакции

33. Латентное время реагирования образуется

- а) сенсорным компонентом двигательной реакции
- б) премоторным компонентом двигательной реакции
- в) моторным компонентом двигательной реакции
- г) сенсорным и премоторным компонентами двигательной реакции

34. Показатели интенсивности, объема и времени выполнения двигательного задания называются

- а) ювенильными показателями
- б) дефинитивными показателями
- в) эргометрическими показателями
- г) показателями технического мастерства

35. Что изучает биомеханика?

- а) механические движения в живой системе
- б) физические движения в живой системе

- в) физиологические особенности живой системы
- г) биологические изменения в живой системе

36. Что изучает кинематика движений человека?

- а) причины возникновения изменения движений
- б) геометрию движений и их изменения во времени
- в) функционально-анатомические изменения во время движений
- г) физиологические особенности человека

37. Что изучает динамика?

- а) причины возникновения изменения движений
- б) геометрию движений и их изменения во времени
- в) функционально-анатомические изменения во время движений
- г) физиологические особенности человека

38. Что лежит в основе метода биомеханики?

- а) системный анализ и системный синтез действий с использованием количественных характеристик
- б) сравнительный анализ двигательной деятельности человека
- в) функциональная зависимость между внешними и внутренними силами
- г) количественная оценка двигательной деятельности человека

39. Какой раздел биомеханики изучает временные характеристики?

- а) кинематика
- б) динамика
- в) энергетика
- г) статика

40. От чего зависит сила сопротивления воды при плавании?

- а) от скорости пловца
- б) от лобового сопротивления
- в) от движений ног и рук
- г) все ответы верны

41. В каких формах проявляются сложные движения материи?

- а) в химических
- б) в энергетических
- в) в социально-биологических
- г) в механических

42. Что не относится к динамическим характеристикам?

- а) инерционные характеристики
- б) силовые характеристики
- в) энергетические характеристики
- г) количественные характеристики

43. Что изучает дифференциальная биомеханика?

- а) силы реакции опоры
- б) виды физических упражнений
- в) тотальные размеры тела
- г) инерционные характеристики

44. От чего зависит сила тяги мышцы?

- а) от совокупности механических и биологических условий
- б) от совокупности физиологических и психологических условий
- в) от совокупности механических, анатомических и физиологических условий
- г) от совокупности механических, анатомических и психологических условий

45. Какие виды деформации происходят при движениях в биомеханической системе?

- а) позная, мышечная и внутренняя
- б) внутренняя и внешняя
- в) мышечная, костная и позная
- г) мышечная и костная

46. Математически градиент силы равен

- а) сумме скорости нарастания силы и скорости отталкивания
- б) отношению массы тела к скорости отталкивания
- в) первой производной от силы по времени
- г) сумме силы по времени и импульса силы

47. Количество движения тела измеряется

- а) произведением массы тела на его скорость
- б) отношением массы тела к скорости
- в) суммой мощности силы и скорости силы
- г) нет правильного ответа

48. Измерение углов движений в суставах называется

- а) геометрией
- б) квалиметрией
- в) гониометрией
- г) тригонометрией

49. При возбуждении сила тяги мышцы

- а) возрастает
- б) сокращается
- в) не изменяется
- г) нет правильного ответа

50. Укажите формулу для вычисления работы силы тяжести тела.

- а) $A = P \cdot h$
- б) $A = P : h$
- в) $A = \frac{1}{2} P \cdot h$
- г) $A = G \cdot h$

51. Эффективность приложения сил в механике определяют

- а) по коэффициенту полезного действия
- б) по коэффициенту трения
- в) по коэффициенту жесткости тела
- г) по коэффициенту упругости тела

52. Укажите формулу для вычисления кинетической энергии тела при поступательном движении.

- а) $E = \frac{mv^2}{2}$
- б) $E = \frac{I\omega^2}{2}$
- в) $E = Gh$
- г) $E = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}$

53. Для определения положения ЦМ тела расчетным путем используют

- а) теорему Вариньона
- б) теорему Гюйгенса – Штейнера

- в) уравнение Хилла
- г) коэффициент эффективности мышечной работы

54. Что такое одноплечий рычаг?

- а) рычаг первого рода
- б) рычаг второго рода
- в) рычаг третьего рода
- г) плечо силы

55. Рычаг первого рода означает

- а) силу тяги мышц
- б) расположение точек приложения сил, действующих в одном направлении, по обе стороны от точки опоры
- в) способность тела сопротивляться разрушению под действием приложенных к телу внешних сил
- г) жесткость мышц при растяжении

56. Основой формирования современной теории биомеханики движений человека послужили

- а) концепции Н.А. Бернштейна
- б) труды П.К. Анохина
- в) исследования И.М. Сеченова
- г) идеи И.П. Павлова

57. Величину силы действия, приходящуюся на 1 кг массы тела, называют

- а) абсолютной силой
- б) относительной силой
- в) внешней силой
- г) внутренней силой

58. Кого называют амбидекстрами?

- а) людей, которым присуще выделение ведущей руки для выполнения деятельности
- б) людей, которым не присуще выделение ведущей руки для выполнения деятельности
- в) людей, которые не достигли высокого спортивного мастерства
- г) людей, которые отличаются своими спортивными достижениями

Ответы к тестам

Тест 1. Кинематические характеристики тела человека

1, в; 2, г; 3, б; 4, в; 5, в; 6, б; 7, г; 8, а; 9, а; 10, а; 11, а; 12, а; 13, а; 14, б; 15, а; 16, а; 17, а; 18, а; 19, в; 20, в; 21, а; 22, б; 23, в; 24, в; 25, а; 26, а; 27, а; 28, а; 29, а; 30, а; 31, а; 32, а; 33, а; 34, а; 35, б; 36, б; 37, а; 38, а; 39, г; 40, г; 41, а; 42, а; 43, а; 44, б; 45, б; 46, в; 47, а; 48, а; 49, а; 50, в; 51, в; 52, б; 53, б; 54, а; 55, а; 56, а; 57, а; 58, а; 59, а; 60, а; 61, а; 62, г; 63, г; 64, а; 65, в; 66, в; 67, б; 68, г; 69, а; 70, г; 71, а; 72, а; 73, б; 74, б; 75, б; 76, а; 77, а; 78, в; 79, а; 80, б; 81, а; 82, а; 83, а; 84, г; 85, а; 86, б; 87, г; 88, в; 89, а; 90, а; 91, б; 92, в; 93, а; 94, в; 95, б; 96, г; 97, а; 98, в; 99, г.

Тест 2. Динамические характеристики тела человека

1, а; 2, а; 3, а; 4, г; 5, б; 6, а; 7, б; 8, а; 9, а; 10, г; 11, б; 12, а; 13, а; 14, в; 15, а; 16, б; 17, г; 18, в; 19, г; 20, в; 21, б; 22, б; 23, в; 24, а; 25, б; 26, г; 27, г; 28, а; 29, б; 30, в; 31, а; 32, г; 33, а; 34, в; 35, а; 36, б; 37, г; 38, б; 39, в; 40, в; 41, а; 42, г; 43, а; 44, в; 45, а; 46, б; 47, в; 48, в; 49, в; 50, а; 51, г; 52, б; 53, в.

Тест 3. Энергетические характеристики тела человека

1, а; 2, г; 3, в; 4, а; 5, а; 6, а; 7, а; 8, в; 9, б; 10, а; 11, в; 12, г; 13, а; 14, г; 15, в; 16, в; 17, б; 18, в; 19, б; 20, б; 21, б; 22, а; 23, а; 24, в; 25, г; 26, г; 27, а; 28, г; 29, б; 30, г; 31, б; 32, в; 33, г; 34, в; 35, а; 36, б; 37, а; 38, а; 39, а; 40, б; 41, в; 42, г; 43, в; 44, в; 45, а; 46, в; 47, а; 48, в; 49, а; 50, а; 51, а; 52, а; 53, а; 54, б; 55, б; 56, а; 57, б; 58, б.

Библиографический список

1. Аруин, А.С. Морфология мышц / А.С. Аруин, В.М. Зациорский, Б.И. Прилуцкий. — М. : ФиС, 1988. — С. 20.
2. Аруин, А.С. Эргономическая биомеханика физической культуры и спорта / А.С. Аруин, В.М. Зациорский. — М. : ГЦОЛИФК, 1985. — С. 37–45.
3. Агашин, Ф.К. Биомеханика ударных движений / Ф.К. Агашин. — М. : ФиС, 1986. — С. 76.
4. Башлыков, И.П. Деловые игры по биомеханике, игра 1 движение снарядов в спортивных играх / И.П. Башлыков, М.Х. Казиев, М.М. Бойцов. — М. : ГЦОЛИФК, 1987. — 33 с.
5. Бранков, Г. Основы биомеханики / Г. Бранков. — М. : Мир, 1981. — С. 40.
6. Бердников, И.Г. Качественная и количественная оценка в научно-педагогических исследованиях / И.Г. Бердников, А.А. Джалилов. — Тольятти : ТФСГПУ, 2000. — 106 с.
7. Бернштейн, Н.А. Биодинамика ходьбы, бега и прыжка / Н.А. Бернштейн. — М. : ФиС, 1949. — С. 18.
8. Беляев, Н.М. Лабораторные работы по сопротивлению материалов / Н.М. Беляев. — М. : Гостехиздат, 1986. — С. 41.
9. Березин, Ф.Б. Функциональные моторные асимметрии и психомоторные соотношения / Ф.Б. Березин // Функциональная асимметрия и адаптация человека. — М., 1976. — С. 53–56.
10. Бернштейн, Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности / Н.А. Бернштейн. — М. : Медицина. 1966. — С. 18.
11. Брандт, А.Ф. Десноручие, шуеручие и перекрестная асимметрия конечностей / А.Ф. Брандт // Русский антропометрический журнал. — 1927. — Т. 15. — № 3–4. — С. 7–28.
12. Башкиров, В.Ф. Профилактика травм у спортсменов / В.Ф. Башкиров. — М. : ФиС, 1987. — С. 50.
13. Медицинский справочник тренера / сост. В.А. Геселевич. — 2-е изд. доп. и перераб. — М. : ФиС, 1981. — 271 с.
14. Гозулов, С.А. Исследование прочности и механизма переломов позвонков / С.А. Гозулов, В.А. Корженьянц. — М. : 1992. — С. 47.
15. Донской, Д.Д. Расчетно-графические работы по биомеханике техники лыжника-гонщика / Д.Д. Донской. — М. : 1981. — 15 с.

16. Донской, Д.Д. Биомеханика / Д.Д. Донской, В.М. Зациорский. – М. : ФиС, 1979. – С. 75.
17. Донской, Д.Д. Биомеханика движения / Д.Д. Донской. – М. : ФиС, 1976.
18. Дембо, А.Г. Заболевания и повреждения при занятиях спортом / А.Г. Дембо. – Ленинград, 1984. – 304 с.
19. Джалилов, А.А. Практикум по биомеханике двигательной деятельности / А.А. Джалилов, К.Л. Меркурьев. – М. : ФиС, 1982. – С. 79.
20. Зациорский, В.М. Биомеханические аспекты двигательного аппарата человека / В.М. Зациорский, А.С. Аруин, В.Н. Селуянов. – М. : ФиС, 1986.
21. Зациорский, В.М. Основы спортивной метрологии / В.М. Зациорский. – М. : ФиС, 1982. – С. 55.
22. Зациорский, В.М. Биомеханика отрицательной работы / В.М. Зациорский, Б.И. Прилуцкий. – М., 1988. – С. 81.
23. Зимкин, Н.В. Физиологические характеристики силы, быстроты и выносливости / Н.В. Зимкин. – М. : ФиС, 1970. – С. 76.
24. Коренберг, В.Б. Основы качественного биомеханического анализа / В.Б. Коренберг. – М. : ФиС, 1979. – 208 с.
25. Коренев, Г.В. Введение в механику человека / Г.В. Коренев. – М., 1977. – С. 55.
26. Коц, Я.М. Физиология мышечной деятельности / Я.М. Коц. – М. : ФиС, 1986. – С. 34.
27. Коц, Я.М. Спортивная физиология / Я.М. Коц. – М. : ФиС, 1991. – С. 34.
28. Козлов, И.М. Анатомия человека / И.М. Козлов. – М. : ФиС, 1986. – С. 77.
29. Ковешников, В.Г. Словарь терминов и понятий по анатомии человека / В.Г. Ковешников, О.Ю. Роменский, А.И. Борисевич. – М. : Высшая школа, 1990. – 272 с.
30. Лапутин, В.В. Практикум по биомеханике физических упражнений / В.В. Лапутин. – Киев, 1987. – С. 39.
31. Лесгафт, П.Ф. Основы теоретической анатомии / П.Ф. Лесгафт. – М., 1990. – С. 32.

32. Никитюк, Б.П. Морфология человека / Б.П. Никитюк, В.П. Чецов. – М. : Университет, 1990. – С. 79.
33. Никитюк, Б.П. Практикум по анатомии и морфологии спорта / Б.П. Никитюк. – М. : ФиС, 1991. – С. 75.
34. Николаев, Г.А. Собственные напряжения в черепно-костной ткани / Г.А. Николаев. – Рига, 1987. – С. 34–43.
35. Образцов, И.Ф. Оптимальные биомеханические системы / И.Ф. Образцов, М.А. Ханин. – М. : Медицина, 1989. – С. 50.
36. Печуркин, Н.С. Энергия и жизнь / Н.С. Печуркин. – Новосибирск : Наука, 1988. – 190 с.
37. Петров, В. Механика спортивных движений / В. Петров, Ю. Гагин. – М. : ФиС, 1974. – С. 62.
38. Панин, Л.Е. Энергетические аспекты адаптации / Л.Е. Панин. – Ленинград : Медицина, 1978 – 192 с.
39. Ратов, И.П. Совершенствование движения человека / И.П. Ратов. – Ташкент, 1995. – С. 32.
40. Суслов, Ф.П. Современная система подготовки спортсменов / Ф.П. Суслов. – М. : ФиС, 1995. – С. 77–78.
41. Степин, П.А. Сопротивление материалов / П.А. Степин. – М. : Высшая школа, 1988. – С. 39–42.
42. Смирнов, Ю.И. Основные свойства и показатели спортивной подготовленности / Ю.И. Смирнов. – Малаховка, 1987. – С. 80.
43. Терлецкий, Я.П. Теоретическая механика / Я.П. Терлецкий. – М. : Изд-во Ун-та дружбы народов, 1987. – 160 с.
44. Тюпа, В.В. Биомеханические аспекты визуальной оценки техники бега / В.В. Тюпа, А.А. Джалилов. – М., 1991. – С. 113.
45. Тюпа, В.В. Биоэнергетика ходьбы и бега / В.В. Тюпа, А.А. Джалилов. – М., 1986. – С. 78–79.
46. Уткин, В.Л. Биомеханика физических упражнений / В.Л. Уткин. – М. : ФиС, 1989. – С. 66.
47. Фомин, Н.А. Физиологические основы двигательной активности / Н.А. Фомин, Ю.Н. Вавилов. – М. : ФиС, 1991. – С. 73.
48. Чирас, А.А. Строительная механика / А.А. Чирас. – М. : Стройиздат, 1989. – 255 с.