



БИОМЕХАНИКА

ЛЕКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ

МАКАРОВ А.М.

Санкт Петербург
2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Тема № 1.....	5
Предмет и история биомеханики.....	5
Истоки биомеханики.....	6
Тема 2. Компьютерная биомеханика.....	13
Методы исследования в биомеханике.....	14
Тема 3 Биомеханика движения.....	17
Двигательный аппарат организма человека.....	27
Звенья и рычаги.....	30
Механические свойства костей и суставов.....	31
Тема 4. Биомеханические свойства мышц.....	31
Энергия рабочих процессов. Биохимия и энергетика.....	32
Тема 5. Биологическая термодинамика.....	34
Первый и второй законы термодинамики.....	35
Превращение энергии в живой клетке.....	37
Свободная энергия и электрохимический потенциал.....	37
Тема 6. Механика. Система координат.....	40
Локомоторные движения.....	42
Биодинамика прыжка.....	45
Разбег.....	45
Отталкивание.....	45
Полет- свободное перемещение.....	46
Биодинамика с опорой на воду (плавание).....	46
Биодинамика передвижения со скольжением (лыжи).....	47
Биодинамика передвижения с механическим преобразованием энергии.....	48
Биомеханика при академической гребле.....	48
Движения по перемещению тел.....	48
Траектория полетов тел.....	49
Скорость в перемещающих движениях.....	51
Точность в перемещающих движениях.....	52
Ударные действия. Основы теории удара.....	54
Биомеханика ударных действий.....	55
Тема 7. Индивидуальная и групповая моторика.....	57
Онтогенез моторики.....	59
Тема 8.Общая и дифференциальная биомеханика.....	61
8.1 Геометрия масс тела.....	61
8.2 Механические свойства костей и суставов.....	66
Биомеханические свойства мышц.....	67
Тема 9. Биомеханический контроль.....	71
Тема 10. Датчики биомеханических характеристик.....	75
Тема 11. Экзоскелет.....	77
Заключение.....	79
Литература.....	79

Лекции	л/р	практика	зачет	
14	8	12		

Введение

Биомеханика - как научное направление, концентрирует внимание на двух составляющих: анатомических особенностях строения тела человека и животных, а также механических характеристик анатомической конструкции, исполняющей разные виды деятельности. Эти две составляющие, в свою очередь, базируются на известных данных анатомии, физики - механики движений. Пристальное внимание к биомеханике поддерживается спортивной медициной, медицинской травматологией, космической медициной. Каждая из этих ветвей научной дисциплины, изучающей механические способности организма человека совершать работу, призвана решать свои уникальные проблемы, диктуемые развитием современных взглядов на деятельность человека

Рассмотрение обширного списка вопросов, столь характерных для биомеханики, связано с представлениями о перемещении объектов, отдельных элементов сложной конструкции, сопряженными процессами и наконец, работой. Освещение этих вопросов требует наличия начальных знаний из области классической физики, биофизики, биохимии и естественно математики.

Биомеханика (от греч. «био» – жизнь и «механика» – орудие) возникла на стыке двух наук – биологии и механики. Кроме изучения непосредственно механического движения человека и животных эта наука также изучает механические аспекты функционирования сердца, движения крови в капиллярах, механизмы травм, прочность тканей, костей и т. д. Таким образом, предмет биомеханики как науки в общем случае – изучение механических явлений в живых системах.

Предметом учебной дисциплины является механическое движение живых самоорганизующихся систем и, прежде всего, человека. Под самоорганизующейся системой понимают систему, обладающую способностью улучшать свою организацию, т. е. совокупность связей между большим числом структурных элементов, определяющих функционирование системы в целом.

Движения человека подчиняются всем законам и закономерностям, которые определяют на Земле движение любого материального тела – это и закон всемирного тяготения, и законы Ньютона, и законы гидроаэромеханики, колебательные и волновые явления и т. д. Движения человека, как правило, очень сложны, поскольку его двигательный аппарат представляет собой механическую систему, состоящую из более чем 200 костей и нескольких сотен сухожилий. Общее число возможных движений в суставах (так называемых степеней свободы) превосходит 250, число мышц, обслуживающих движения, более 600. Все это необходимо для того, чтобы обеспечить чисто механическое перемещение человека во внешней среде.

Работа мышц – это биологический процесс, при котором мышечные волокна должны быть активированы, чтобы они смогли выполнить механическую работу по перемещению звеньев тела. Чтобы совершить работу, необходимо затратить энергию. В организме человека энергия – это результат биохимических реакций. С механической точки зрения человек представляет собой систему, обладающую внутренним источником энергии, биологическим по происхождению. Чтобы мышцы сократились в необходимой последовательности и с определенными усилиями и в результате создали требуемый механический эффект движения, ими надо управлять, что делают головной мозг и нервная система, функционирование которых имеет биологическую природу. Головной мозг выполняет высшие психические функции, такие как мотивация, осознание, программирование, оказывающие непосредственное воздействие на процесс формирования и исполнения нереальных команд, что позволяет мозгу запускать биологические управляющие механизмы центральной нервной системы (ЦНС).

Связь психической, биологической и механической функций в деятельности человека образно определил создатель русской физиологической школы И.М. Сеченов (1829-1905 гг.). Он писал, что все без исключения качества внешних проявлений мозговой деятельности, которые мы характеризуем, например, словами: одушевленность, страстность, насмешка, печаль, радость и другие, суть ни что иное, как результаты большего или меньшего укорочения какой-нибудь группы мышц – акта, как всем известно, чисто механического. И у музыканта, и у скульптора рука, творящая жизнь, способна делать лишь чисто механические движения, которые, строго говоря, могут быть даже подвергнуты математическому анализу и выражены формулой.

Психика человека качественно отличается от высшей нервной деятельности животных, что проявляется и в двигательных действиях.

Только человек может сознательно ставить цель движения, осознавать, контролировать и оттачивать его, совершенствовать окружающую среду и создавать специальные приспособления для повышения механического эффекта своих двигательных действий. Лишь человеку доступны высшие символические движения: не только речь, но и рисование, игра на музыкальных инструментах, танец, пантомима и др. Подавляющее большинство движений человека выполняется с определенной целью и относится к числу произвольных – такие движения входят в состав двигательных действий, т.е. совокупность элементарных движений, направленных на достижение определенной цели. В каждом движении присутствуют ориентировочная, исполнительная и контрольная части. Исполнительная часть – это и есть механическое движение, которое изучают в биомеханике. Но оно всегда определяется психической и физиологической деятельностью мозга, обеспечивающей не только непосредственное управление движением, но также ориентировочную и контрольную части двигательного действия по системам внутренней биологической обратной связи.

Спортивная биомеханика изучает двигательные действия человека при выполнении им спортивных упражнений. Ее выделяют особо как раздел биомеханики, поскольку в спортивной биомеханике изучают особенно сложные по своей структуре движения, которые выполняют люди, специально тренирующие свои двигательные способности и подготовленные для реализации в движении предельных возможностей человека как биологического вида.

Спортивная биомеханика изучает движения человека в процессе занятий физическими упражнениями. Это необходимо для обеспечения роста спортивных результатов вплоть до рекордного для конкретного спортсмена или определенного вида спорта; выявления помогающих или препятствующих факторов при совершенствовании в движениях; разработки новых видов инвентаря, тренажеров, спортивных снарядов и оборудования; предупреждения травм.

Основными задачами спортивной биомеханики являются:

- совершенствование спортивной техники, моделирование и конструирование ее наиболее рациональных вариантов;
- биомеханический контроль техники отдельных спортсменов с целью исправления ошибок и повышения уровня спортивно-технического мастерства;
- выявление биомеханических закономерностей совершенствования двигательных действий;
- прогнозирование тенденций изменения параметров техники выполнения спортивных упражнений с ростом мастерства и спортивной результативности для оценки этапных и конечных показателей на различных циклах подготовки;
- разработка биомеханически целесообразных тренажеров для спорта;
- совершенствование спортивного инвентаря.

В основе большинства видов спорта (кроме таких, как шахматы, шашки, авиамодельный спорт и т. п.) – соревнования в определенных видах движений человека. И именно спортивная биомеханика изучает эти движения. Знания по биомеханике необходимы представителям разных профессий, связанных со спортом (инженерам-конструкторам спортивного инвентаря, спортивным врачам и др.), но в первую очередь педагогам-тренерам, так как биомеханика в приложениях имеет педагогическую направленность. В спорте и физическом воспитании обучают движениям и совершенствуют двигательные возможности человека. Следовательно, спортивная биомеханика является составной и определяющей частью теории и методики спортивной тренировки и физического воспитания.

В настоящее время общей тенденцией биомеханики является комплексное изучение двигательной деятельности человека методами различных наук. Таким образом, соединив спортивную биомеханику с физиологией, психологией, биохимией, медициной, удастся выявить устойчивые закономерности изменения внутренней среды организма и внешних проявлений работы нервно-мышечного аппарата спортсмена в структуре двигательных действий. Ведь все виды подготовки спортсмена, его функциональное состояние проявляются в технике выполнения упражнений в процессе соревнований.

Тема № 1

Предмет и история биомеханики

Биомеханика — учение о двигательных возможностях и двигательной деятельности человека и животных. Термин биомеханика составлен из двух греческих слов: *bios* — жизнь и *mechané* — орудие. Как известно, механика - это раздел физики, изучающий механическое движение и механическое взаимодействие материальных тел. В таком случае биомеханика — это раздел науки, изучающий двигательные возможности и двигательную деятельность живых существ.

Наибольший практический интерес представляет изучение движений человека и высших животных. С одной стороны изучение особенностей передвижения организма позволяет установить оптимальные процедуры работы мышечного аппарата, костных конструкций и оценить нагрузки на организм в целом. С другой стороны, знание о работе мышечного аппарата, в разных отделах организма, позволяет создавать искусственные объекты. В простом случае это протезы разного назначения. Расширение этой темы происходит при использовании микропроцессоров и компьютеров.

Развитие сетей связи с многочисленными ресурсами породили необходимость создания интеллектуальных агентов – анимированных персон, по образу напоминающих человека, с его индивидуальными внешне отличимыми чертами.

Для решения сложных практических задач, связанных с использованием механических аппаратов, создаются роботы. Эти аппараты обладают внешним сходством с человеком, имеют ограниченный набор коммуникационных процедур и способны исполнять тяжелые физические работы. Привлечение роботов для исполнения физической работы, например, на погрузочных терминалах или в условиях медицинского учреждения, представляется важной актуальной задачей. Сегодня решение этой задачи рассматривается как с точки зрения конструирования и производства искусственных робототехнических систем, так и с точки зрения эксплуатации готовых образцов роботов. Большое разнообразие современных конструкций роботов эффективно использующихся в клинике требует знаний по программированию. Такие знания позволяют проводить «настройку» робота на конкретные работы. Подача команды такому роботу позволяет запустить определенный набор механических процедур, посредством которых исполняется установленное задание. В качестве примера можно говорить о «подъеме и переносе пациента в клинической палате» с одного места на другое. Условное обобщенное представление о важных тематических интересах биомеханики иллюстрируется таблицей 1.1.

Таблица 1.1

Биомеханика			
Спорт	Медицина	Биомеханизмы	Роботы
Разработка процедур оптимального движения	Протезирование, конструирование анатомических элементов организма	Подвижные механизмы, реализующие принципы движения живых организмов	Технические микропроцессорные системы с анатомическими элементами живых организмов

В историческом отношении основы биомеханики заложены в Греции. Понимая важность усиления физических усилий человека при выполнении различных работ, греки создали много интересных понятий и определений для рабочих процедур подвижного тела человека. Фактически не располагая основами физических знаний, были установлены важные закономерности работы костного скелета и мышц. Установленные принципы потом нашли свое отражение в классической физике.

Различные виды спорта обладают спецификой подготовки спортсменов. В первую очередь это связано с необходимостью создания комплекса физических процедур, развивающих специфические группы мышц. Именно направленность на использование физических процедур, их связанность в течение всего периода подготовки спортсмена, создают важное условие оптимального режима работы всех функциональных подсистем организма, а следовательно, достижения наивысших результатов в спорте. В этом отношении спорт и спортивная медицина тесно взаимосвязаны. Общие цели и принципы достижения конечного результата основываются на хороших знаниях биофизики и биомеханики. В медицинской практике, если говорить о протезировании, задачи несколько сложнее поскольку требуется проводить комплекс мероприятий по восстановлению утраченных возможностей совершать оп-

ределенные физические движения, восстанавливать двигательную активность отдельных групп мышц или части скелета.

Обладая знаниями организации и длительного исполнения отдельных двигательных процедур можно создавать аппараты и специальные подвижные механизмы. Так, например, используя знания о механике передвижения африканских тараканов, создаются подвижные тележки – прототипы автомобилей. Используя принцип множественности «двигателей», которые представлены техническими «ногами» такие передвижные механизмы способны перемещать большие по весу грузы на значительные расстояния по пересеченной местности. Это так называемые подвижные биомеханизмы. Такие механизмы могут реализовываться для исполнения работ по складированию грузов, подъему тяжелых объектов.

Подвижные механизмы в более совершенном исполнении, когда кроме механических действий требуется исполнение некоторых коммуникативных процедур, создаются роботы. Такие устройства – аппараты внешне похожи на человека и способны исполнять различные работы, которые могли бы быть поручены помощнику человека.

Истоки биомеханики

История биомеханики неразрывно связана с историей техники, физики, биологии и медицины, а также с историей физической культуры и спорта. Многие достижения этих наук определяли развитие учения о движении живых существ.

Современную биомеханику нельзя представить без законов механики, открытых Архимедом, Галилеем, Ньютоном, без физиологии Павлова, Сеченова, Анохина, так как и без современных компьютерных технологий. Биомеханика — одна из самых старых ветвей биологии. Ее истоками были работы Аристотеля, Галена, Леонардо да Винчи.

В своих естественнонаучных трудах «Части движения и перемещение животных», Аристотель заложил основу того, что в дальнейшем, спустя 2300 лет назовут наукой биомеханикой. В своих научных трактатах он свойственной ему мышлением описывает животный мир и закономерности движения животных и человека. Он писал о частях тела, необходимых для перемещения в пространстве (локомоции), о произвольных и непроизвольных движениях, о мотивации движений животных и человека, о сопротивлении окружающей среды, о цикличности ходьбы и бега, о способности живых существ передвигаться.

Величайшим ученым-медиком античного времени (после Гиппократом) был Клавдий Гален (131—201 гг. н. э.). В соответствии с мировоззрением античного времени, Гален понимал целостность организма. Он писал: «В общей совокупности частей, все находится во взаимном согласии и ... все содействует деятельности каждой из них». Изучение нервов позволило Галену сделать вывод о том, что нервы по своей функциональной особенности делятся на три группы: те, что идут к органам чувств, выполняют функцию восприятия, идущие к мышцам ведают движением, а идущие к органам охраняют их от повреждения.

Основной труд Галена — «О назначении частей человеческого тела». Гален экспериментально показал, что конечность попеременно то сгибается внутренними, то разгибается наружными мышцами. Так, описывая пятую мышцу, самую большую, по его мнению, из всех мышц тела, приводящую бедро и состоящую из большой, средней и малой мышц, прикрепляющихся к внутренним и задним частям бедренной кости и нисходящей вниз почти до коленного сочленения, он, анализируя ее функцию, писал: «Задние волокна этой мышцы, идущие от седалищной кости, укрепляют ногу, напрягая сустав. Не менее сильно это действие производится нижней порцией волокон, идущих от лобковой кости, к чему присоединяется еще легкое вращательное движение внутрь. Выше их лежащие волокна приводят бедро внутрь точно так же, как самые верхние приводят и в то же время несколько поднимают бедро»

На развитие механики в средние века оказали существенное влияние исследования Леонардо да Винчи (1452—1519 г.) по теории механизмов, трению и другим вопросам. Изучая функции органов, он рассматривал организм как образец «природной механики».

Первые научные труды написаны Аристотелем (384—322 гг. до н. э.), которого интересовали закономерности движения наземных животных и человека. А основы наших знаний о движениях в воде заложены Архимедом (287—212 гг. до н. э.).

На становление биомеханики оказали влияние выдающиеся мыслители прошлого: римский врач Гален (131 — 201 гг.), Леонардо да Винчи (1452—1519 гг.), Микеланджело (1475—1564 гг.), Галилео Галилей (1564—1642 гг.), Исаак Ньютон (1642—1727 гг.), ученик Галилея Джованни Альфонсо Борелли (1608—1679 гг.)— автор первой книги по биомеханике “О движениях животных”, вышедшей в свет в 1679 г.

Леонардо да Винчи впервые описал ряд костей и нервов, особое внимание уделял проблемам сравнительной анатомии, стремясь ввести экспериментальный метод и в биологию. Этот великий художник, математик, механик и инженер впервые высказал важнейшую для будущей биомеханики мысль: «Наука механика потому столь благородна и полезна более всех прочих наук, что все живые тела, имеющие способность к движению, действуют по ее законам». Успех как великого художника также немало зависит от биомеханической направленности картин Леонардо да Винчи, поскольку в них детально прорисована техника движения. Его наблюдения, очевидные в наши дни, в средние века были революционными. Например, «Мускулы начинаются и оканчиваются всегда в соприкасающихся костях, и никогда они не начинаются и не оканчиваются на одной и той же кости, так как они ничего не могли бы двигать, разве только самих себя». Леонардо, безусловно, является основоположником функциональной анатомии, составной части биомеханики. Он не только описал топографию мышц, но и значение каждой мышцы для движения тела.

Возникновение биомеханики как науки

Большой вклад в развитие биомеханики как науки внес итальянский астроном, математик и врач Джованни Альфонсо Борелли (1608-1679), который так же, как и Леонардо да Винчи, рассматривал мышцы и опорно-двигательный аппарат животных и человека с позиций механики (рис. 1.1). Рисунок из книги Дж. Борелли *De motu animalium* Система рычагов, схема прикрепления мышц при сгибании в суставе и при разгибании. Скелетно-мышечная схема двух человек, по-разному удерживающих различный груз.

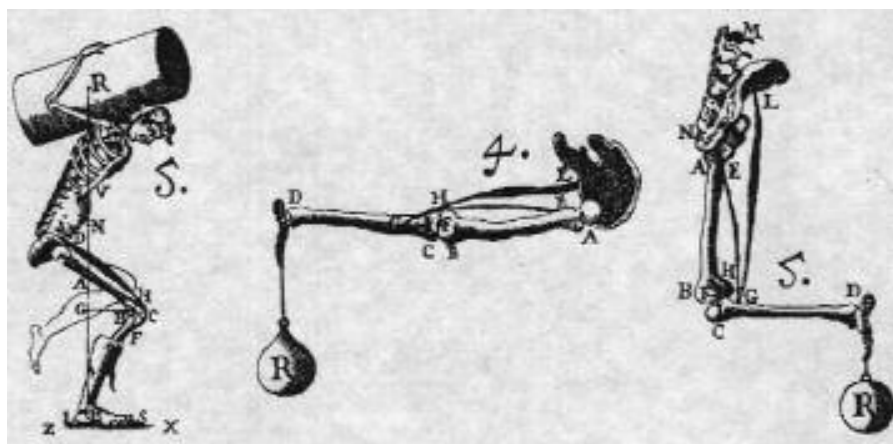


Рисунок 1.1 Схема мышечного аппарата конечностей

Основателем науки биомеханики по праву считается Джованни Борелли, итальянский натуралист. Профессор университетов в Мессине (1649) и Пизе (1656). Помимо работ в области физики, астрономии и физиологии, он разрабатывал вопросы анатомии и физиологии с позиций математики и механики. Он показал, что движение конечностей и частей тела у человека и животных при поднятии тяжестей, ходьбе, беге, плавании можно объяснить принципами механики, впервые истолковал движение сердца как мышечное сокращение, изучая механику движения грудной клетки, установил пассивность расширения легких.

Наиболее известный труд ученого «Движение животных» («De Motu Animalium»). Его учение основано на твердых биомеханических принципах, в своей работе он описал принципы мускульного сокращения и впервые представил математические схемы движения. Он впервые использует биомеханическую модель для объяснения движения в биомеханической системе.

Новым толчком развития биомеханики был связан с изобретение метода кинофотосъемки движения человека. Французский физиолог, изобретатель и фотограф. Этьенн Марей(1830—1904) впервые применил кинофотосъемку для изучения движений человека. Так же впервые им был применен метод нанесения маркеров на тело человека — прототип будущей циклографии. Важной вехой в истории биомеханики явились исполненные Э. Майбриджем (1830—1904) (США) циклы фотографий, снятых несколькими камерами с разных точек зрения. Серия фотографий («Галопирующая лошадь», 1887), показала необычайную красоту пластики реальных движений. С тех пор кинофотосъемка применяется для анализа движений как один из основных методов биомеханики.

Начало анализа движения человека было положено братьями Вебер (1836) в Германии: Эдуарда и Вильгельма Веберов. Эдуард Вебер был анатомом, а Вильгельм – физиком. В 1836 году они издали книгу «Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge» – «Механика ходьбы человека». В этой книге они привели данные о кинематических характеристиках ходьбы человека. Однако несовершенство используемых методик не позволило провести анализ быстротекущих двигательных действий. В биомеханике мышц до сих пор справедлив принцип, впервые сформулированный Э. Вебером: «Сила мышц, при прочих равных условиях, пропорциональна ее поперечному сечению».

Первый трехмерный математический анализ человеческой походки проведен Вильгельмом Брауном и его студентом Отто Фишером в 1891 году. Методология анализа ходьбы не изменилась по сегодняшний день. Кроме того, Браун и Фишер впервые изучили массу, объем и центр масс человеческого тела, (проведя исследования на трупах), и получили данные, которые длительно использовали как биомеханический стандарт. Ими был также предложен метод определения массы сегментов тела и его объема, используя погружение частей тела в воду. Так были получены данные возрастных изменений центров масс. Исследования Брауна и Фишера положили начало новой эпохи биомеханики — биомеханики ходьбы, а период со второй половины XIX столетия стали называть столетием ходьбы.

Метод биомеханики — системный анализ и системный синтез движений на основе количественных характеристик, в частности кибернетическое моделирование движений. Биомеханика, как наука экспериментальная, эмпирическая, опирается на опытное изучение движений. При помощи приборов регистрируются количественные характеристики, например траектории скорости, ускорения и др., позволяющие различать движения, сравнивать их между собой. Рассматривая характеристики, мысленно расчлняют систему движений на составные части — устанавливают её состав. В этом — суть системного анализа.

Система движений, как целое — не просто сумма её составляющих частей. Части системы объединены многочисленными взаимосвязями, придающими ей новые, не содержащиеся в её частях качества (системные свойства). Необходимо представлять это объединение, устанавливать способ взаимосвязи частей в системе — её структуру. В этом — суть системного синтеза. Системный анализ и системный синтез неразрывно связаны друг с другом, они взаимно дополняются в системно-структурном исследовании.

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

Изучаемые явления:

Ходьба человека — филогенетически древняя хорошо автоматизированная и цикличная локомоция. Изучение анализа ходьбы удобно тем, что в её осуществлении участвует весь опорно-двигательный аппарат. Это дает возможность исследовать функцию любых его отделов, включая верхние конечности и позвоночник.

Основная стойка — положение и движения общего центра массы тела (при стоянии обследуемого на специальной платформе — метод стабилотрии).

Статические положения. Информация о конечных положениях позволяет оценить взаимоположение сегментов тела и определить амплитуду движений. Например, оценка формы позвоночника производится в трех плоскостях — фронтальной, сагитальной и горизонтальной. Оценивается наклон таза в сагитальной и фронтальной плоскостях, наклон надплечий во фронтальной плоскости. Соотношение тазового и плечевого пояса оценивается во фронтальной и горизонтальной плоскостях. Кроме

того, во фронтальной плоскости оценивается наклон надплечий относительно таза, а в горизонтальной — разворот надплечий относительно таза.

Основные методы исследования:

- подометрия — измерение временных характеристик шага;
- гониометрия — измерение кинематических характеристик движений в суставах;
- динамометрия — регистрация реакций опоры;
- электромиография — регистрация поверхностной ЭМГ;
- стабилметрия — регистрация положения и движений общего центра давления на плоскость опоры при стоянии.

Современный этап развития биомеханики

Создателем теоретической основы современной биомеханики — учения о двигательной деятельности человека и животных можно по праву считать Николая Александровича Бернштейна (1896—1966).

Бернштейн Николай Александрович (1896–1966) — российский психофизиолог. Создал и применил новые методы исследования движений человека. Анализ полученных результатов позволил Б. сформулировать положение о том, что приобретение навыка обусловлено не повторением одних и тех же иннервационных команд, а выработкой умения каждый раз заново решать двигательную задачу. Показал, что движение направляется моделью потребного будущего. Созданная им общая теория построения движений в монографии «О построении движения» (1947). Последующие работы посвящены изучению основ физиологии активности.

Созданная Бернштейном теория многоуровневого управления движениями, в том числе локомоциями человека, положила начало развитию новых принципов понимания жизнедеятельности организма. Поставив в центр внимания проблему активности организма по отношению к среде, Бернштейн объединил биомеханику и нейрофизиологию в единую науку физиологию движений. Понятие Н. А. Бернштейна о двигательной задаче как психической основе действий человека открыло пути изучения высших уровней сознания в двигательной деятельности человека. Подверглись подробной разработке вопросы формирования, строения и решения двигательной задачи. Эти вопросы стали рассматриваться в тесной связи со строением двигательного состава действия как системы движений.

Ряд работ Бернштейна посвящен изучению динамики мышечных сил и иннервационной структуры двигательных актов. Он внес коренные усовершенствования в технику регистрации и анализа движений (кимоциклограмма, циклограмметрия). Некоторые идеи, высказанные Бернштейном в 30-х гг., предвосхитили основные положения кибернетики. Бернштейну принадлежит одна из первых четких формулировок понятия обратной связи в физиологии, а также идея по-уровневой организации движений. В связи с недостаточностью понятия «рефлекторной дуги» для объяснения двигательных актов Бернштейн ввел понятие «рефлекторного кольца», основанное на трактовке всей системы отношений организма со средой как непрерывного циклического процесса.

В 1926 г. Н. А. Бернштейном на основе исследований в биомеханической лаборатории Центрального института труда было издано «Общая биомеханика» как первая часть «Основ учения о движениях человека». Важно отметить, что в учебнике «Физиология человека», изданном в 1946 г., уже полностью представлено учение Н. А. Бернштейна о координации движений, без которого невозможно и представить современную биомеханику.

Наряду с этими именами следует указать на работы Сеченова И. М. (1829—1905 гг.), Лесгафта П. Ф. (1837—1930 гг.), Ухтомского А. А. (1875—1942 гг.) которые много сделали для развития биомеханики труда и спорта. Кроме того, в последние десятилетия возникли и развиваются:

- инженерная биомеханика, основные достижения которой связаны с роботостроением;
- медицинская биомеханика, исследующая причины, последствия и способы профилактики травматизма, прочность опорно-двигательного аппарата, вопросы протезостроения;
- эргономическая биомеханика, изучающая взаимодействие человека с окружающими предметами с целью их оптимизации.

Наиболее активно развивается биомеханика движения, которая оперирует как статическими, так и динамическими представлениями о работе скелета и мышечных групп. Это связано с постоянным совершенствованием техник исполнения физических процедур, индивидуально совершенствующихся в каждом виде спорта. Биомеханика изучает двигательную деятельность человека во время спортивных

тренировок и соревнований и в процессе занятий массовыми и оздоровительными формами физической культуры, в том числе на уроках физкультуры в школе. Непрерывно совершенствуясь, биомеханика физических упражнений постепенно преобразуется в биомеханику двигательной активности, охватывающую все стороны двигательной деятельности человека. В простейшем понимании интересов биомеханики выделяю три раздела.

Таблица 1.2 Основные группы интересов в биомеханике

Биомеханика		
Общая	Дифференциальная	Частная

Общая биомеханика решает теоретические проблемы и помогает узнать, как и почему человек двигается. Этот раздел биомеханики очень важен для практики физического воспитания и спорта, ибо «нет ничего практичнее хорошей теории».

Дифференциальная биомеханика изучает индивидуальные и групповые особенности двигательных возможностей и двигательной деятельности. Изучаются особенности, зависящие от возраста, пола, состояния здоровья, уровня физической подготовленности, спортивной квалификации.

Частная биомеханика рассматривает конкретные вопросы технической и тактической подготовки в отдельных видах спорта и разновидностях массовой физкультуры. В том числе в оздоровительном беге и ходьбе, общего развития гимнастических упражнениях, ритмической гимнастике на суше (аэробика) и в воде (акваробика). Основной вопрос частной биомеханики — как научить человека правильно (оптимально, экономно) выполнять разнообразные движения или как самостоятельно освоить культуру движений.

За редким исключением (например, движения новорожденного) здоровый человек выполняет целенаправленные и мотивированные движения, или двигательные действия. На этом уровне биомеханика изучает и совершенствует технику двигательных действий (например, технику прыжка, удара, шага).

Другой уровень биомеханики посвящен тактике двигательной деятельности. При выполнении физических упражнений двигательная деятельность складывается из двигательных действий, как цепь из звеньев. Например, бег состоит из отдельных шагов; стрельба — из изготовления, прицеливания и выстрела; штрафной удар в футболе — из разбега и удара ногой по мячу. Двигательные действия в такой цепи взаимосвязаны и взаимообусловлены. Поэтому двигательная деятельность — это система двигательных действий.

Биомеханика занимает особое положение среди наук о физическом воспитании и спорте. Она базируется на анатомии, физиологии и фундаментальных научных дисциплинах — физике (механике), математике и теории управления. Взаимодействие биомеханики с биохимией, психологией и эстетикой дало жизнь новым научным направлениям, которые, едва родившись, уже приносят большую практическую пользу. В их числе «психобиомеханика¹», энергетические и эстетические аспекты биомеханики.

Более других медико-биологических и педагогических дисциплин биомеханика использует достижения электронно-вычислительной техники. Для исследования явлений связанных с работой мышц, нервных окончаний, прочности скелета используют специальные датчики, которые позволяют либо фиксировать, либо посредством телекоммуникационных средств связи предавать данные на некоторое расстояние. Размещение датчиков на теле человека и регистрация данных представляется актуальной задачей. В решение этой задачи вовлечены разные специалисты. В этом направлении выделяют остеопатию — систему альтернативной медицины, рассматривающая в качестве первичной причины болезни нарушение структурно-анатомических отношений между различными органами и частями тела — «остеопатическую дисфункцию»

Биомеханические исследования охватывают различные уровни организации живой материи: биологические макромолекулы, клетки, ткани, органы, системы органов, а также целые организмы и их сообщества.

¹ Психобиодинамика- настройка самосознания на здоровье, внутренняя настройка сознания на успех, в широким смысле

Чаще всего, объектом исследования этой науки, является движение животных и человека, а также механические явления в тканях, органах и системах. Под механическим движением понимается движение всей биосистемы в целом, а также движение отдельных частей системы относительно друг друга — деформация системы. Все деформации в биосистемах, связаны с биологическими процессами, которые играют решающую роль в движениях животных и человека. Это сокращение мышцы, деформация сухожилия, кости, связок, фасций, движения в суставах. Отдельным направлением биомеханики является - биомеханика дыхательного аппарата, его эластичное и неэластичное сопротивление, кинематика (то есть геометрическая характеристика движения) и динамика дыхательных движений, а также другие стороны деятельности дыхательного аппарата в целом и его частей (легких, грудной клетки); биомеханика кровообращения изучает упругие свойства сосудов и сердца, гидравлическое сопротивление сосудов току крови, распространение упругих колебаний по сосудистой стенке, движение крови, работу сердца и др. Биомеханика человека — наука комплексная, она включает в себя самые разнообразные знания других наук, таких как: механика и математика, функциональная анатомия и физиология, возрастная анатомия и физиология, педагогика и теория физической культуры.

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

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

Таким образом, биомеханика человека изучает, какой способ и какие условия выполнения действий лучше и как овладеть ими. Общая задача изучения движений состоит в оценке эффективности приложения сил для достижения поставленной цели. Всякое изучение движений, в конечном счете, направлено на то, чтобы помочь лучше выполнять их. Прежде, чем приступить к разработке лучших способов действий, необходимо оценить уже существующие. Отсюда вытекает общая задача биомеханики, сводящаяся к оценке эффективности способов выполнения изучаемого движения. Биомеханика исследует, каким образом полученная механическая энергия движения и напряжения может приобрести рабочее применение.

Рабочий эффект измеряется тем, как используется затраченная энергия. Для этого определяют, какие силы совершают полезную работу, каковы они по происхождению, когда и где приложены. То же самое должно быть известно о силах, которые производят вредную работу, снижающую эффективность полезных сил. Такое изучение дает возможность сделать выводы о том, как повысить эффективность действия. При решении общей задачи биомеханики возникают многочисленные частные задачи, не только предусматривающие непосредственную оценку эффективности, но и вытекающие из общей задачи и ей подчиненные.

Метод биомеханики — системный анализ и системный синтез движений на основе количественных характеристик, в частности кибернетическое моделирование движений. Биомеханика, как наука экспериментальная, эмпирическая, опирается на опытное изучение движений. При помощи приборов регистрируются количественные характеристики, например траектории скорости, ускорения и др., позволяющие различать движения, сравнивать их между собой. Рассматривая характеристики, мысленно расчленяют систему движений на составные части — устанавливают общую схему сочленения отдельных элементов.

Система движений как целое — не просто сумма ее составляющих частей. Части системы объединены многочисленными взаимосвязями, придающими ей новые, не содержащиеся в ее частях качества (системные свойства). Необходимо представлять это объединение, устанавливать способ взаимосвязи частей в системе — ее структуру. В этом — суть системного синтеза. Системный анализ и системный синтез неразрывно связаны друг с другом, они взаимно дополняются в системно-структурном исследовании.

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

Клиническая биомеханика

Клиническая (медицинская) биомеханика является составной частью медицинских наук: ортопедии, травматологии, протезирования, (реабилитологии (лечебной физкультуры), педиатрии, физиологии и мн. других. Клиническая биомеханика — научное направление, в котором с позиций механики и общей теории управления с помощью специализированных методов исследования изучается двигательная активность человека в норме и патологии

Основные разделы:

- Биомеханика нормальной и патологической ходьбы.
- Биомеханика скелетной травмы
- Биомеханика крупных суставов.
- Биомеханика позвоночника
- Биомеханика стопы

Исследуемые явления:

Ходьба человека — филогенетически древняя хорошо автоматизированная и цикличная локомоция. Изучение анализа ходьбы удобно тем, что в ее осуществлении участвует весь опорно-двигательный аппарат. Это дает возможность исследовать функцию любых его отделов, включая верхние конечности и позвоночник.

Основная стойка — положение и движения общего центра массы тела (при стоянии обследуемого на специальной платформе — метод стабилотриции).

Статические положения. Информация о конечных положениях позволяет оценить взаимоположение сегментов тела и определить амплитуду движений. Например, оценка формы позвоночника производится в трех плоскостях — фронтальной, сагиттальной и горизонтальной. Оценивается наклон таза в сагиттальной и фронтальной плоскостях, наклон надплечий во фронтальной плоскости. Соотношение тазового и плечевого пояса оценивается во фронтальной и горизонтальной плоскостях. Кроме того, во фронтальной плоскости оценивается наклон надплечий относительно таза, а в горизонтальной — разворот надплечий относительно таза.

Задачи и содержание спортивной биомеханики (биомеханика спорта). Как самостоятельная научная дисциплина биомеханика физических упражнений обогащает теорию физического воспитания, исследуя одну из сторон физических упражнений — технику. Вместе с тем, биомеханика физических упражнений непосредственно используется в практике физического воспитания. Как учебный предмет биомеханика содержит главные положения учения о движениях, обобщенный и систематизированный опыт изучения общих объективных закономерностей. Объект познания биомеханики — двигательные действия [человек], а как системы взаимно связанных активных движений и положений его тела. Задачами спортивной биомеханики являются:

- изучение особенности техники выдающихся спортсменов;
- определение рациональной организации действий;
- разработка методических приемов освоения движений, методы технического самоконтроля и совершенствования техники.

Биомеханика физических упражнений делится на общую, дифференциальную и частную.

Общая биомеханика решает теоретические проблемы и помогает узнать, как и почему человек двигается. Этот раздел биомеханики очень важен для практики физического воспитания и спорта.

Дифференциальная биомеханика изучает индивидуальные и групповые особенности двигательных возможностей и двигательной деятельности. Изучаются особенности, зависящие от возраста, пола, состояния здоровья, уровня физической подготовленности, спортивной квалификации и т. п.

Частная биомеханика рассматривает конкретные вопросы технической и тактической подготовки в отдельных видах спорта и разновидностях массовой физкультуры. В том числе в оздоровительном беге и ходьбе, общеразвивающих гимнастических упражнениях, ритмической гимнастике на суше (аэро-

бика) и в воде (акваробика) и т. п. Основной вопрос частной биомеханики — как научить человека правильно выполнять разнообразные движения или как самостоятельно освоить культуру движений.

Биомеханика занимает особое положение среди наук в физическом воспитании и спорте. Биомеханика базируется на анатомии, физиологии и фундаментальных научных дисциплинах — физике (механике), математике, теории управления. Взаимодействие биомеханики с биохимией, психологией и эстетикой дало жизнь новым научным направлениям, которые, едва родившись, уже приносят большую практическую пользу. В их числе «психобиомеханика», энергостатические и эстетические аспекты биомеханики.

Инженерная биомеханика

- Составная часть медико-биологической науки Протезостроение
- Спортивная биомеханика (Биомеханика спорта)
- Спортивная биомеханика - раздел биомеханики, изучающий технику выполнения спортивных двигательных действий.

Биомеханика трудовых действий и рабочих поз

- Составная часть науки эргономика (гигиена труда)
- Теоретическая биомеханика
- Теоретическая биомеханика — наука, основанная на применении математической методологии и математического аппарата.

Тема 2. Компьютерная биомеханика

Одним из ответвлений теоретической биомеханики является компьютерная биомеханика, компьютерное моделирование. Она интенсивно развивается, пополняя теоретическую биомеханику новыми знаниями

Театральная биомеханика

Как театральная, термин был введен В. Э. Мейерхольдом в его режиссерскую и педагогическую практику в начале 1920-х гг. для обозначения новой системы подготовки актера. «Биомеханика стремится экспериментальным путем установить законы движения актера на сценической площадке, прорабатывая на основе норм поведения человека тренировочные упражнения игры актера». (В. Э. Мейерхольд.) Театральная биомеханика в своей теоретической части, с одной стороны, опиралась на психологическую концепцию У.Джемса (о первичности физической реакции по отношению к реакции эмоциональной), на рефлексологию В. М. Бехтерева и эксперименты И. П. Павлова.

С другой стороны, биомеханика представляла собой применение идей американской школы организации труда последователей Ф. У. Тейлора в сфере актерской игры (т. н. «тейлоризацию театра»): «Поскольку задачей игры актера является реализация определенного задания, от него требуется экономия выразительных средств, которая гарантирует точность движений, способствующих скорейшей реализации задания». (В. Э. Мейерхольд.) Биомеханика Мейерхольда тесно переплелась с научной биомеханикой, которую создавал в Центральном институте труда А.К. Гастев. В практической части разработки биомеханических упражнений для актера использовался опыт прошлого театра: сценическая техника комедии дель арте, методы игры Э. Дузе, С.Бернар, Дж. Грассо, Ф.Шалапина, Ж. Коклена.

Биомеханическая техника противопоставлялась другим школам актерской игры: «нутра» и «переживания», вела от внешнего движения к внутреннему. Актер- биомеханист по Мейерхольду должен был обладать природной способностью к рефлексорной возбудимости и физическим благополучием (точным глазомером, координацией движения, устойчивостью и т. д.). Созданные Мейерхольдом тренировочные биомеханические этюды имели общую схему: «отказ» — движение, противоположное цели; «игровое звено» — намерение, осуществление, реакция. «Биомеханика есть самый первый шаг к выразительному движению» (С. М. Эйзенштейн).

Методы исследования в биомеханике

В настоящее время биомеханика обладает значительным арсеналом методов исследования локомоторной функции, как в статике, так и в динамике, причем изучается не только внешняя картина движения, но и механизмы управления, жизнеобеспечение организма, что дает возможность выявить целый комплекс параметров, характеризующих двигательный образ. В это понятие включаются не только внешние (механические) проявления движения и реакций окружающей среды, но и условия организации управления движениями, согласованная деятельность всех органов и систем организма. Получаемая в результате биомеханических исследований информация служит основой для определения нормы, позволяет количественно определить степень нарушения локомоторной функции при различных патологических состояниях. Биомеханические исследования достаточно широко используются не только в клинической медицине (функциональная диагностика, ортопедия, травматология, протезирование), но и в спорте, и при разработке различных антропоморфных механизмов (роботы, манипуляторы), и при решении других прикладных задач. Методическая база биомеханических исследований постоянно совершенствуется, используя новейшие достижения науки.

Методы исследования, получившие наибольшее распространение в настоящее время, в клинической биомеханике могут быть классифицированы следующим образом:

I. Соматометрические: антропометрия, фотограмметрия, рентгенография.

II. Кинезиологические: оптические, потенциометрия, электроподография², тензометрия³, ихнография⁴.

III. Клинико-физиологические: калориметрия, электромиография, электроэнцефалография и другие методы функциональной диагностики.

Соматометрия и антропометрия

При клиническом и биомеханическом обследовании используются методы антропометрии с целью получения информации о половых и возрастных особенностях испытуемых об особенностях строения опорно-двигательного аппарата в норме и при патологии, важной информации об осанке. Обычно перед проведением специальных биомеханических исследований измеряют рост пациента стоя и сидя, длину конечностей, амплитуду движений в крупных суставах, определяют массу его тела. При помощи отвесов производят зарисовку диаграммы стояния — проекции на горизонтальную плоскость осей суставов нижних конечностей и таза. Это дает возможность составить представление об архитектонике нижних конечностей при удобном стоянии, определить величину разворота осей суставов в проекции на горизонтальную плоскость, угол разворота стоп, расстояние между внутренними поверхностями ног на различных уровнях и т. д.

Фотограмметрия

Поверхность спины при исследовании методом компьютерной топографии. А.- норма; Б.- кифосколиоз грудного отдела; В.- гиперлордоз поясничного отдела; Г.- выступающие крыловидные лопатки.

К антропометрическим методам сбора и анализа информации относится способ изучения схемы построения опорно-двигательного аппарата в виде так называемой фотограмметрии. Кратко техника фотограмметрии состоит в следующем: обследуемому предлагают принять естественную, наиболее привычную, удобную позу стояния. Перед ним устанавливают кадровую рамку с сантиметровыми делениями по горизонтальным и одной из вертикальных сторон. Через середину рамки натянута нить, служащая отвесом. Фотографируют и для графического анализа изготавливают фотоснимки, на которых измеряют расстояние в сантиметрах между передневерхними осями таза, наклон бедер по анатомическим осям относительно вертикали, расстояние между центрами коленных суставов, наклон голени по анатомическим осям, угол физиологического вальгуса голени, расстояние между центрами опоры стоп. Этот метод даст возможность определить возрастные особенности схемы построения опорно-двигательного аппарата в норме и при различных патологических состояниях.

Метод оптической компьютерной топографии

Стереофотограмметрия с мнимым базисом. Геометрическая модель стереофотографии. Координаты фиксированной точки: $X=90$, $Y=112$, $Z=-24$ мм. Важную информацию о геометрии тела чело-

² электроподография, исследование основных показателей ходьбы

³ тензометрия - исследование механических характеристик двигательного аппарата

⁴ ихнография - метод оценки абсолютных показателей ходьбы

века, об особенностях и нарушении осанки можно получить при исследовании специальным методом компьютерной топографии. Этот современный и самый точный метод позволяет количественно с высокой точностью определить координаты любой анатомической точки поверхности тела. Продолжительность обследования составляет 1 — 2 минуты, поэтому этот метод с успехом применяется для массовых исследований

Кинезиологические методы

Целенаправленные движения человека (локомоции) представляют собой устойчивый паттерн движения, характеризующийся определенными кинематическими, динамическими, временными и пространственными параметрами. Вся совокупность последних может рассматриваться как биомеханическое проявление двигательного образа, который складывается для каждого конкретного человека в период постнатального онтогенетического развития и претерпевает изменения в результате изменений на любом уровне двигательного анализатора в зависимости от возраста и условий функционирования жизнеобеспечивающих систем организма. Естественно, что регистрация кинезиологических параметров движения является необходимой для его характеристики, и при нарушениях функции опорно-двигательного аппарата, и при изучении локомоции спортсмена.

Наиболее достоверные сведения о движении могут быть получены с помощью оптических методов, которые обеспечивают комплексную регистрацию любого количества точек тела человека и внешней обстановки относительно пространственно-временной координатной сетки и дают информацию о кинематике исследуемых точек в форме, удобной для математического анализа. Координаты же, как известно, есть тот материал, из анализа которого может быть почерпнуто максимальное количество сведений о протекании снятого движения. Циклография (от цикла... и ...графия), метод изучения движений человека путем последовательного фотографирования (до сотен раз в секунду) меток или лампочек, укрепленных на движущихся частях тела. Впервые фотографирование фаз движения было предложено в 80-х гг. 19 в. французским ученым Э. Марселем. Н. А. Бернштейн в 20-х гг. 20 в. усовершенствовал и модифицировал циклографию, например он предложил кимоциклографию — съемку на передвигающуюся пленку. На основе анализа циклограмм — циклограмметрии — для ряда движений были получены данные о траектории отдельных точек тела, о скоростях и ускорениях движущихся частей тела, что дало возможность вычислить величины сил, обуславливающих данное движение. Эти сведения легли в основу современных представлений о принципах управления движениями человека, использованы при изучении спортивных движений, двигательных нарушений близок метод киносъемки движений с последующей обработкой кадров наподобие циклограмм.

Наиболее простым и часто применяемым на практике видом киносъемки является фотограмметрия. Эта съемка представляет собой регистрацию движений человека и объектов окружающей среды в плоскости, перпендикулярной оптической оси аппарата. При этом аппарат устанавливается так, чтобы в его поле зрения находилось все, что будет подвергнуто изучению и последующему анализу. Полученные с помощью оптических методов регистрации экспериментальные данные подвергаются математической обработке. В качестве датчиков («светящихся точек») для получения кинематических характеристик движений конечностей применяют метки или электрические лампочки, которые укрепляют на исследуемых суставах. Снаряжение испытуемого почти невесомо, поэтому оно не вносит никаких изменений в структуру двигательного образа.

Конвергентная стереофотограмметрическая съемка и зеркальная циклограмметрия тождественны. Действительно, зеркальная циклограмметрическая съемка под углом α (угол между главной оптической осью киноаппарата и плоскостью зеркала — угол съемки) есть не что иное, как съемка двумя аппаратами, оптические оси которых конвергируют под углом α . Вычисление пространственных координат производится по формулам математической зависимости между пространственными координатами помещения (в случае, если съемка производится в камеральных условиях) и координатами перспективных изображений. Кроме аналитических методов, в настоящее время нашли широкое распространение различные номографические приемы, основанные на известных положениях синтетической геометрии.

Номограмма, с помощью которой осуществляется обработка изоинформации, представляет собой функциональную сетку и служит для получения реальных (действительных) координат любой фиксированной точки на сегменте или суставе конечности.

Электромеханические методы

В настоящее время в биомеханических исследованиях широкое распространение получили, наряду с оптическими, и электрические методы регистрации. Это можно объяснить в первую очередь тем, что информация, представленная в виде электрических сигналов, является удобной для обработки радио- и электронными приборами. Кроме того, большинство процессов, протекающих в живых организмах, сопровождается различными электрическими явлениями, что облегчает получение информации в виде электрических сигналов.

Кинематические схемы потенциметрических датчиков для измерения амплитуды движений в суставах нижних конечностей. А — в плюснефаланговом; б — в подтаранном; В — в тазобедренном, коленном и голеностопном.

При использовании электрических методов регистрации неэлектрических величин (каковыми являются кинематические и динамические составляющие движения) в практике биомеханических исследований применяют измерение и регистрацию кинематических составляющих движения осуществляются с помощью линейных потенциметрических датчиков 2 типов: с входной функцией в виде углового и линейного механического перемещения. Потенциметрические датчики преобразуют функцию механического перемещения в аналоговый электрический сигнал, который затем регистрируется в соответствующем масштабе.

Исследование динамических составляющих движения осуществляют с помощью тензомерических методов. В качестве тензочувствительного элемента используют различные тензодатчики — датчики давления. Тензодатчики применяются для определения вертикальных составляющих реакции опоры при ходьбе (ихнография) или для регистрации стабилотрамм.

Пододография — регистрация времени опоры отдельных участков стопы при ходьбе с целью изучения функции переката исследуется при помощи специальных датчиков, смонтированных в подошву обуви.

Стабилотрамма попеременного стояния на правой и левой ноге. Стабилотрафия — объективный метод регистрации положения и проекции общего центра масс на плоскость опоры — важный параметр механизма поддержания вертикальной позы. Обычно регистрируют площадь миграции общего центра масс (ОЦМ) в проекции горизонтальной плоскости, совмещенный с очерком стопы.

Клинико-физиологические методы

Информация о функциональной анатомии опорно-двигательного аппарата человека и биомеханических параметрах движения не может достаточно полно охарактеризовать весь комплекс процессов, происходящих в организме в условиях двигательной активности. С целью изучения механизма управления движениями, их энергообеспеченности в биомеханических исследованиях применяются некоторые физиологические методы. Из обширного арсенала методов современной физиологии избираются те средства функциональной оценки жизнеобеспечивающих систем организма, которые в сочетании со специальными биомеханическими методами дают возможность глубже изучить процесс формирования двигательного навыка и реакции организма на реализацию движения. В связи с этим наиболее широко в клинико-биомеханических исследованиях используются различные варианты кардиографии, электроэнцефалография, электромиография, косвенная калориметрия и другие методы функциональной диагностики.

Метод калориметрии

Энергия, высвобождаемая организмом в процессе жизнедеятельности, переходит непосредственно в работу механическую, электрическую, физико-химическую и т. д., при этом высвобождается некоторое количество тепла. Все тепло, отдаваемое организмом, дает сумму энергетических превращений за определенный промежуток времени.

Количество выделяемого тепла может быть определено непосредственно в специальной калориметрической камере, в которую помещают испытуемого. Впервые такая камера была построена в 1880—1886 гг. на кафедре общей патологии Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова В. В. Пашутиным (Санкт Петербург). Однако в настоящее время применяется более простой метод непрямой калориметрии, который состоит в исследовании легочного газообмена и последующем пересчете количества потребляемого кислорода в единицы тепловой энергии. Теоретические обоснования метода непрямой калориметрии базируются на том, что вся энергия, высвобождающаяся в процессе

жизнедеятельности человека, есть результат распада (окисления) жиров, белков и углеводов. Экспериментально установлено среднее количество тепла, освобождающегося при окислении 1 г каждого из указанных веществ. Установлен и тепловой эквивалент кислорода при окислении этих веществ.

Энергетические траты здорового человека складываются из: 1) основного обмена, 2) прироста обмена вследствие специфически-динамического действия принятой пищи, 3) прироста обмена в результате мышечной работы.

Основной обмен составляет наименьшую интенсивность обмена веществ, которая необходима для обеспечения жизнеспособности. Энергетически он выражается в величинах теплопродукции в состоянии покоя. Основной обмен определяется не ранее, чем через 12—18 ч после приема пищи, в условиях полного мышечного и психического покоя, при температуре окружающего воздуха 18—20 °С.

Наиболее распространенным в настоящее время методом непрямой калориметрии является метод Дугласа — Холдена. Суть его заключается в том, что испытуемый дышит атмосферным воздухом, причем выдыхаемый воздух собирается в мешок из прорезиненной ткани емкостью 100—150 л. Количество выдыхаемого воздуха за данное время измеряется газовыми часами, а качественный состав исследуется в газоанализаторе Холдена.

Электромиография

Для изучения деятельности мышц в процессе выполнения двигательного акта используется электромиография. Еще в 1884 г. Н. Е. Введенским описан опыт телефонического (акустического) прослушивания потенциалов действия мышц человека, а в 1907 г. немецкий физиолог Н. Рипер впервые зарегистрировал биосигналы с помощью струнного гальванометра. Однако практическую значимость электромиографические исследования приобрели лишь с 30-х годов после создания специализированных усилителей биопотенциалов и концентрических игольчатых электродов, позволивших не только исследовать функцию двигательной единицы, но и расшифровать значение компонентов электромиограммы (ЭМГ), снятой накожными электродами.

Отведение электромиограммы в настоящее время осуществляется двумя способами: накожными и игольчатыми электродами, позволяющими избирательно регистрировать активность одной двигательной единицы. Применение накожного биполярного отведения с межэлектродным расстоянием 20—25 мм позволяет регистрировать суммарную активность многих двигательных единиц. Развитие электромиографии привело к появлению специальной области клинической электрофизиологии — клинической электромиографии, находящей широкое применение в нервной и хирургической клиниках, в ортопедии и протезировании, в клинической и спортивной биомеханике. В последние годы область применения метода электромиографии существенно расширилась за счет использования биопотенциалов мышц в качестве показателя в системах адаптивного регулирования мышечного тонуса.

Тема 3 Биомеханика движения

Описывать положение тела человека можно разными способами. Изложим один из наиболее распространенных. Место тела характеризует, в какой части пространства (где именно — например, в какой части стадиона, комнаты) находится в данный момент человек. Чтобы определить место тела, достаточно указать три координаты какой-либо точки тела в неподвижной системе координат. В качестве такой точки обычно удобно выбирать общий центр масс тела (ОЦМ), связывая с ним начало другой, подвижной системы координат, оси которой ориентированы так же, как и оси неподвижной системы.

Ориентация тела характеризует его поворот относительно неподвижной системы координат (вверх головой, вниз головой, горизонтально и т. п.). Поза тела характеризует взаимное расположение звеньев тела относительно друг друга. Определение места тела обычно не связано с большими трудностями. Определение ориентации тела — задача гораздо более трудная, особенно при сложных позах.

Объясняется это тем, что с точки зрения механики тело человека является телом переменной конфигурации. Для таких тел понятие об их ориентации в пространстве не является строгим.

Основные плоскости и оси человеческого тела в иллюстративной форме представлены на рис. 2.1. Основные плоскости тела ориентируются в системе трех взаимно перпендикулярных осей: вертикальной и двух горизонтальных — поперечной и глубинной, или передне-задней.

Вертикальная плоскость, проходящая через переднюю срединную и позвоночную линии, а также всякая плоскость, параллельная ей, называются сагиттальными. Они разделяют тело на правую и левую части. Вертикальная плоскость, проходящая перпендикулярно к сагиттальной, а также всякая плоскость, параллельная ей, называются фронтальными. Они разделяют тело на переднюю и заднюю части.

Горизонтальные плоскости проходят перпендикулярно по отношению к этим двум плоскостям и называются трансверсальными (поперечными). Они разделяют тело на верхнюю и нижнюю части.

К сожалению, основные анатомические плоскости и оси мало пригодны для описания многих движений человека. Проблема здесь состоит в том, что с телом человека надо каким-то образом связать систему координат так, чтобы изменение ориентации этой системы отражало изменение ориентации тела.

Продольную ось определяют следующим образом: тело человека (в стойке руки вверх) делится горизонтальной плоскостью на две равные по весу половины. Линия, соединяющая центры масс верхней и нижней половины тела (и проходящая через ОЦМ), образует продольную ось тела (OY). Другие две оси (OX и OZ) должны быть перпендикулярны ей и начинаться в ОЦМ. Передне-заднюю ось направляют параллельно плоскости симметрии таза, а поперечную— перпендикулярно ей.

В качестве начала систем координат, связанных с телом, не всегда удобно брать центр масс тела: его положение довольно трудно определить, при изменении позы ОЦМ смещается и может даже выйти за пределы тела. Поэтому в качестве фиксированных антропометрических ориентиров, с которыми удобно связывать начало системы координат, разными авторами предлагались:

а) выход крестцового канала (между крестцовыми рогами), который легко пальпируется. Так как крестец является жестким образованием, система координат, начинающаяся в этой точке, хорошо ориентируется: вертикальная ось OY направлена вверх по крестцу, фронтальная OX - влево, сагиттальная ось OZ – вперед;

б) вершина остистого отростка пятого поясничного позвонка —точка, весьма близко расположенная к центру масс тела человека, стоящего в обычной стойке.

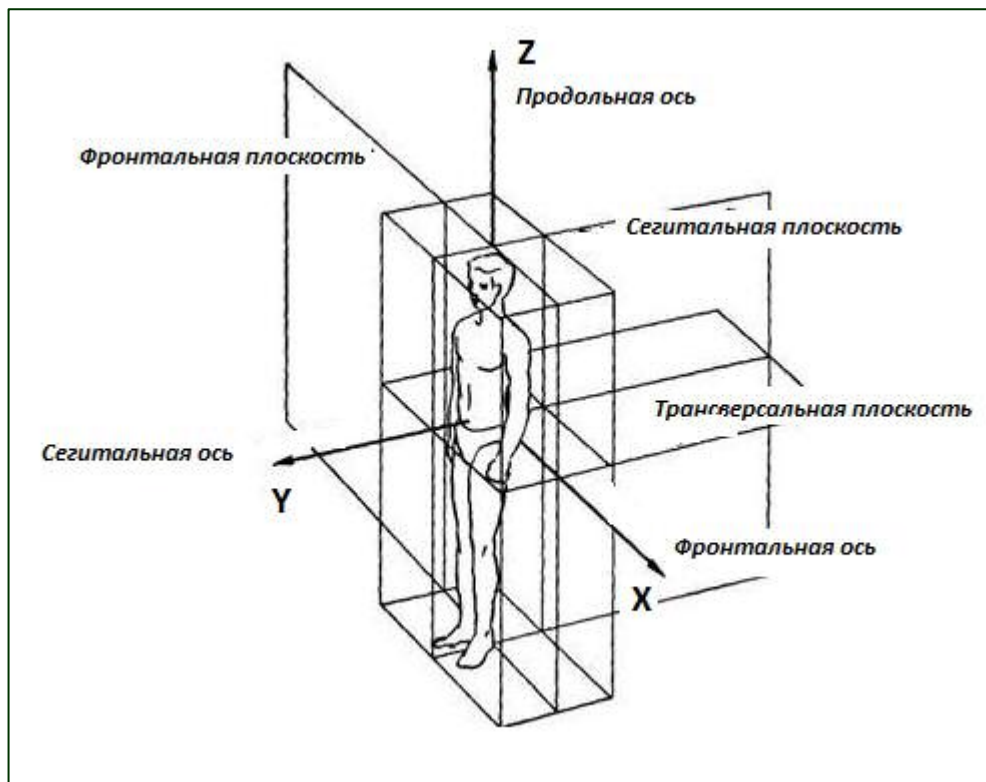


Рисунок 3.1. Основные плоскости и оси тела человека

Для определения ориентации тела с ним надо связать две системы координат, имеющих начало в одной точке. Оси одной из них остаются параллельными неподвижной системе координат (по отношению к которой определяется место тела); оси второй – связаны с телом. Ориентацию тела в этом случае характеризуют три Эйлера угла, с помощью которой можно перейти от одной системы координат к другой.

Инерционные характеристики раскрывают, каковы особенности тела человека и движимых им тел в их взаимодействиях. От инерционных характеристик зависит сохранение и изменение скорости. Это масса, момент инерции, обычно непосредственно не регистрируются. Определяются данные, по которым рассчитывают эти характеристики.

Масса тела (τ) определяется взвешиванием. Зная по весу тела его силу тяжести (G) и ускорение свободного падения тела (g), G определяют массу [кг]:

$$\tau = G/g$$

$$T = \frac{G}{g}$$

Распределение масс в теле в известной мере характеризуется положением его общего центра тяжести (ОЦТ). Применяют опытное (экспериментальное) определение положения ОЦТ и расчетное.

Один из наиболее точных опытных методов — взвешивание человека на треугольной платформе (рис. 2.2) в заданной позе.

Необходимую позу устанавливают двумя способами. При первом способе позу срисовывают с кинокадра, увеличивая ее до натурального размера. На этот рисунок, находящийся на платформе, ложится испытуемый, принимая позу, соответствующую нанесенному контуру. При втором способе на кинокадре измеряют углы в крупных суставах тела (плечевые, локтевые, тазобедренные, коленные, голеностопные) и, используя угломеры, придают испытуемому на платформе требуемую позу. Опытное определение выполняют и на моделях. Модель Абалакова⁵ — фигурка человека, построенная с соблюдением средних пропорций тела (в 0,1 размера тела и 0,001 веса) Фигурка укладывается в заданной позе на лист бумаги с контурами позы (рис. 3.3, а) Лист с моделью передвигают по свободно качающейся на опоре O платформе, пока ОЦТ модели не совпадет с точкой подвеса платформы Нажимом снизу на иглу в центре платформы прокалывают лист бумаги в точке расположения ОЦТ.

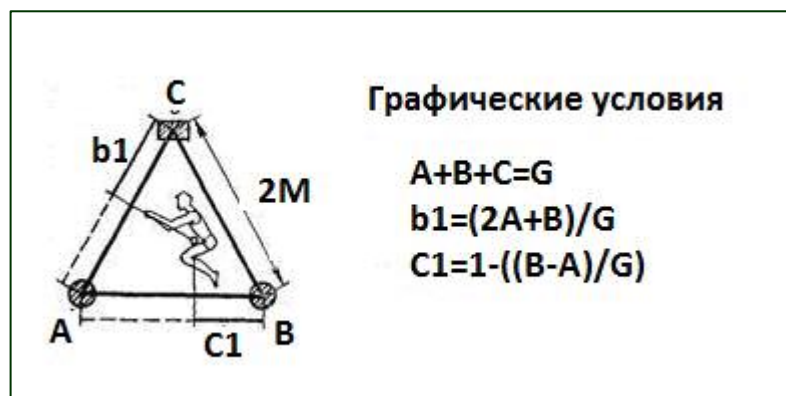


Рисунок. 3.2. Определение положения ОЦТ тела человека взвешиванием на платформе.

⁵ Виталий Михайлович Абалаков — советский альпинист, заслуженный (1934), заслуженный мастер спота (1940), заслуженный тренер СССР (1961), инженер-конструктор. Автор около 100 приборов, используемых для объективной оценки процесса тренировки спортсменов.

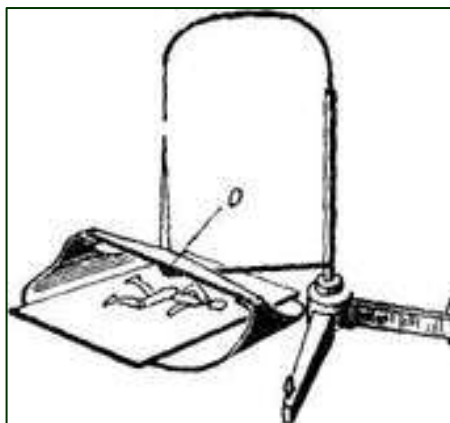


Рисунок 3.3 а. Определение положения ОЦТ тела человека по модели В. М. Абалакова,

Можно также применить шарнирную модель, которая позволяет определить положение ОЦТ в передне-задней плоскости (рис 3. 3, б) Масса — это мера инертности тела при поступательном движении. Она измеряется отношением приложенной силы к вызываемому ею ускорению:

$$m=F/a ; [m]= M$$

Измерение массы здесь основано на втором законе Ньютона: Изменение движения пропорционально изменению действующей силы и происходит по тому направлению, по которому эта сила приложена.

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

Масса тела человека во время движения не изменяется. Так как она служит мерой инерции, то не следует говорить: «набрать инерцию», «погасить инерцию». Увеличивают и уменьшают не массу (как меру инерции), а кинетическую энергию (зависящую от скорости тела).

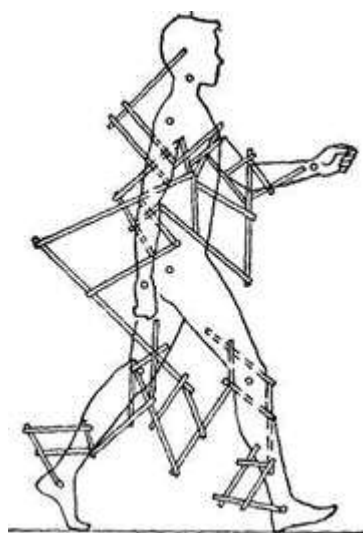


Рисунок 3.3 б. Определение

шарнирной модели

положения ОЦТ тела человека по

Для анализа движений часто приходится учитывать не только величину массы, но и ее распределение в теле. В известной степени это указывает на местоположение центра масс тела. Эта точка

совпадает с центром тяжести того же тела (центр масс совпадает с центром инерции как точкой приложения параллельных сил инерции всех точек тела).

Момент инерции — это мера инертности тела при вращательном движении. Момент инерции тела равен отношению момента силы относительно данной оси к вызываемому им угловому ускорению:

$$I = Mz(F)/\varepsilon = \sum mr^2; [I] = ML^2$$

Момент инерции тела относительно данной оси численно равен сумме произведений масс всех его частиц и квадратов расстояний каждой частицы до этой оси. Отсюда видно, что момент инерции тела больше, когда его частицы дальше от оси вращения. В таком случае тот же момент силы $Mz(F)$ вызовет меньшее угловое ускорение (ε). Инерционное сопротивление быстро увеличивается с удалением частей тела от оси вращения.

Обратим внимание на то, что основное уравнение динамики в принципе одинаково для поступательного и вращательного движения. В левой его части причина изменения движения — сила (F) или момент силы $Mz(F)$; в правой части сначала мера инертности — масса (m) или момент инерции (I), и далее мера изменения скорости — ускорение линейное (a) или угловое (ε).

Заметим также, что действие силы во вращательном движении зависит от того, как далеко проходит линия ее действия от оси вращения (r).

Инертное сопротивление в этом случае зависит также от того, как частицы тела (их массы) распределены относительно оси вращения (R).

Величина R называется радиусом инерции. Она показывает, насколько удалены массы от оси вращения. Если расположить все частицы тела на одинаковом расстоянии от оси, получится полый цилиндр. Радиус такого цилиндра, момент инерции которого равен моменту инерции изучаемого тела, и есть радиус инерции (R). Он позволяет сравнивать различные распределения массы тела относительно разных осей вращения.

Поступательное движение

$$F = ma$$

$$Fr = mR^2 \varepsilon.$$

Вращательное движение

$$Mz(F) = I \varepsilon$$

Понятие о моменте инерции очень важно для понимания движений, хотя точное количественное определение этой величины в конкретных случаях пока затруднено.

Тело человека — это система подвижно соединенных звеньев. На каждое звено тела человека действует сила тяжести звена, направленная вертикально вниз. Если силы тяжести звеньев обозначить соответственно G_1, G_2, \dots, G_n , то равнодействующая этих параллельных сил $G_{\text{тела}}$ и модуль (величина) этой силы, равна:

$$G_{\text{тела}} = G_1 + G_2 + \dots + G_n = \sum_{i=1}^n G_i.$$

При любом повороте тела силы остаются приложенными в одних и тех же точках звеньев и сохраняют свое вертикальное направление, оставаясь параллельными друг другу. Следовательно, и равнодействующая сил тяжести звеньев тела будет при любых положениях тела проходить через одну и ту же точку тела, неизбежно с ним связанную, являющуюся центром параллельных сил тяжести звеньев.

Точка, через которую проходит линия действия равнодействующей элементарных сил тяжести при любом повороте тела в пространстве, являясь центром параллельных сил тяжести, называется общим центром тяжести (ОЦТ) твердого тела.

Так как тело человека не является неизменным твердым телом, а представляет собой систему подвижных звеньев, то положение ОЦТ будет определяться главным образом позой тела человека (т.е. взаимным относительным положением звеньев тела) и изменяться с изменением позы.

Знание положения ОЦТ человека важно для биомеханического анализа и для решения многих самостоятельных задач механики спортивных движений. Часто по движению ОЦТ мы судим о движении человека в целом, как бы оцениваем результат движения. По характеристикам движения ОЦТ (траектории, скорости, ускорению) можно судить о технике выполнения движения.

Степень напряжения тех или иных мышечных групп в статическом положении зависит от распределения массы тела (от конструктивных особенностей), и этим определяются двигательные возможности человека.

Говоря об ОЦТ тела человека, следует иметь в виду не геометрическую точку, а некоторую область пространства, в которой эта точка перемещается. Это перемещение обусловлено процессами дыхания, кровообращения, пищеварения, мышечного тонуса и т.д., т.е. процессами, приводящими к постоянному смещению ОЦТ тела человека. Ориентировочно можно считать, что диаметр сферы, внутри которой происходит перемещение ОЦТ, в спокойном состоянии, составляет 10-20 мм. В процессе движения смещение ОЦТ может значительно увеличиваться и этим оказывать влияние на технику выполнения упражнений.

На каждое звено и на все тело человека постоянно действуют силы тяжести, вызванные притяжением и вращением Земли. Когда тело покоится на опоре (или подвешено), сила тяжести, приложенная к телу, прижимает его к опоре (или отрывает от подвеса). Это действие тела на опору (верхнюю или нижнюю) измеряется весом тела.

Вес тела (статический) - это мера его воздействия в покое на покоящуюся же опору (подвес), препятствующую его падению. Он равен произведению массы тела m на ускорение свободного падения g .

$$P = m \times g ; \quad [P] - \text{Н (ньютон)}$$

Значит, сила тяжести и вес тела - не одна и та же сила. Вес тела человека приложен к опоре, а сила тяжести приложена к телу человека (центру тяжести). Опытным путем были определены средние данные о весе звеньев тела и положении их центров тяжести. Если принять вес тела за 100%, то вес каждого звена может быть выражен в относительных единицах (%).

При выполнении расчетов не обязательно знать ни вес всего тела, ни каждого его звена в абсолютных единицах. Центры тяжести звеньев определены или по анатомическим ориентирам (голова, кисть), или по относительному расстоянию ЦТ от проксимального сустава (радиус центра тяжести - часть всей длины конечностей), или по пропорции (туловище, стопа).

При учебных расчетах принято считать относительный вес головы равным 7% веса всего тела, туловища - 43%, плеча - 3%, предплечья - 2%, кисти - 1%, бедра - 12%, голени - 5%, стопы - 2%.

Центр тяжести звена определяют по расстоянию от него до оси проксимального сустава - по радиусу центра тяжести. Его выражают относительно длины всего звена, принятой за единицу, считая от проксимального сочленения. Для бедра он составляет приблизительно 0,44; для голени - 0,42; для плеча - 0,47; для предплечья - 0,42; для туловища - 0,44 (отмеряют расстояние от поперечной оси плечевых суставов до оси тазобедренных суставов).

Центр тяжести головы расположен в области турецкого седла клиновидной кости (проекция спереди на поверхность головы - между бровями, сбоку - на 3-3,5 см выше наружного слухового прохода). Центр тяжести кисти расположен в области головки третьей пястной кости, центр тяжести стопы - на прямой, соединяющей пяточный бугор пяточной кости с концом второго пальца, на расстоянии 0,44 от первой точки (рис. 4, а). Зная вес звеньев и радиусы центров их тяжести, можно приблизительно определить положение ОЦТ всего тела.

Общий центр тяжести всего тела - это воображаемая точка, к которой приложена равнодействующая сил тяжести всех звеньев тела. При основной стойке он расположен в области малого таза,

впереди крестца. Положение ОЦТ тела надо знать при определении равновесия человека на опоре (или в подвесе), в водной среде, в покое, а также под воздействием потока воздуха или воды. Для определения условий равновесия тела при покое или движении в среде важно узнать положение двух точек: центра объема и центра поверхности тела.

Центр объема (ЦО) тела человека — это точка приложения выталкивающей силы при полном погружении тела в воду. Он совпадает с центром тяжести вытесненной воды в форме погруженного тела. Так как плотность тела человека неодинакова, ЦО обычно на несколько сантиметров ближе к голове (при выпрямленном положении тела), чем ОЦТ. Значит, погруженное в воду тело человека в выпрямленном положении будет поворачиваться вокруг поперечной оси ногами вниз.

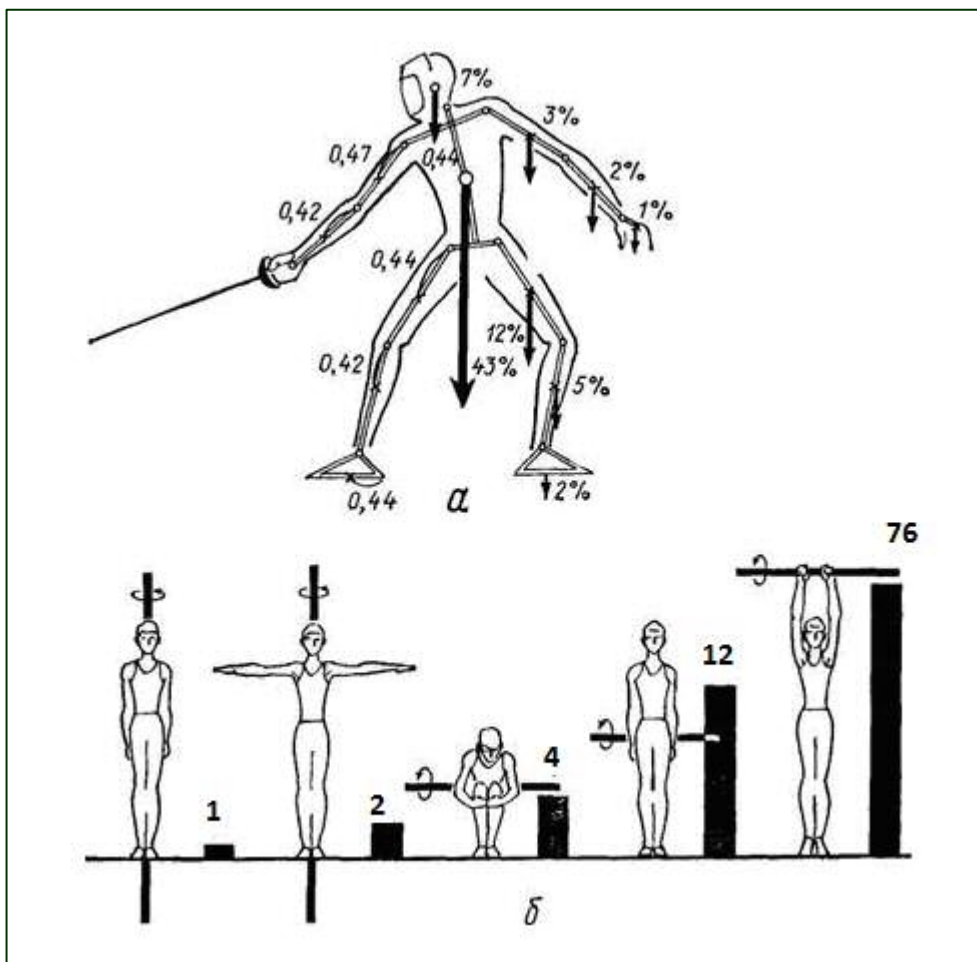


Рисунок 3.4. Геометрия масс тела человека: а — центры тяжести и относительные веса звеньев; б — моменты инерции тела относительно разных осей

Центр поверхности (ЦП) тела человека — это при данной позе тела и его ориентации относительно потока (воды или воздуха) точка приложения равнодействующей напора среды. Сила действия среды, будучи расположена по ту или иную сторону от ОЦТ человека, обуславливает соответствующий поворот тела.

Момент инерции звена тела дает представление о величине массы звена и ее распределении относительно заданной оси. Эта общая характеристика не отражает, насколько она зависит от величины масс и насколько от распределения материальных частиц относительно заданной оси. Момент инерции служит лишь мерой инертности. Относительно разных осей момент инерции звена различен. Обычно нужно знать момент инерции звена относительно поперечной оси проксимального сустава. Момент инерции для неоднородных тел, не имеющих правильной геометрической формы, определяют только

опытным путем. Приблизительно моменты инерции длинных звеньев конечностей равны $0,3 ml^2$ (где m — масса звена и l — длина звена).

Радиусы инерции относительно поперечной оси проксимального сустава приблизительно равны для плеча 0,55, для предплечья — 0,50, для бедра — 0,53 и для голени — 0,50 всей длины звена.

Радиусы инерции существенно больше радиусов центров тяжести, поэтому при расчетах нельзя считать их равными.

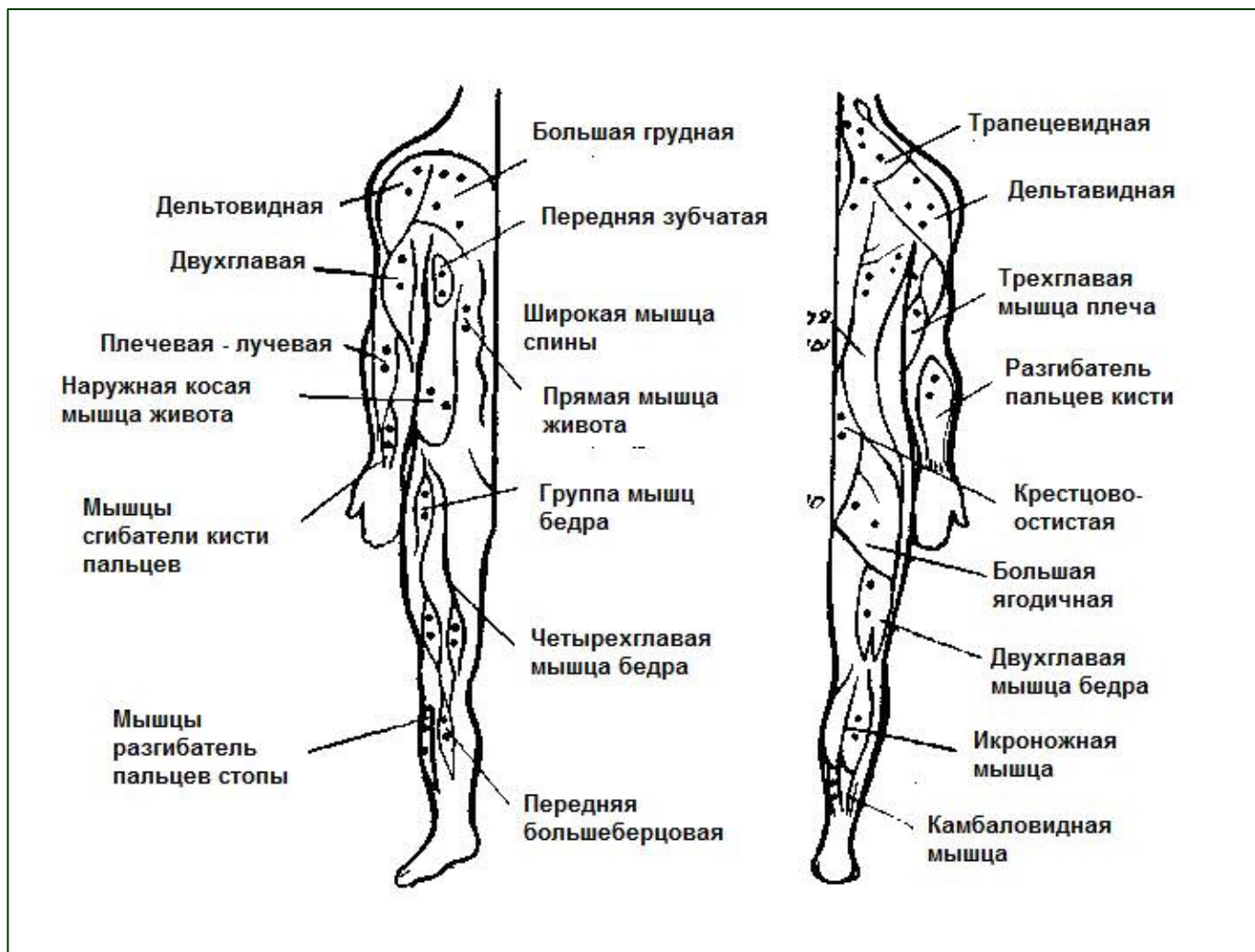


Рисунок 2.5. Схематическое изображение мышц тела человека

Момент инерции тела человека относительно заданной оси определяется как сумма моментов инерции всех звеньев тела относительно той же оси. Наименьший момент инерции выпрямленного тела человека — момент инерции относительно продольной оси тела, проходящей через его ОЦТ (рис. 3, 4, б). Направленное изменение момента инерции широко используется при управлении вращательными движениями тела.

Для практики важно определение топографии работающих мышц. На этом этапе выявляется, какие мышцы и как участвуют в выполнении данного упражнения. Зная, какие мышцы преимущественно

обеспечивают двигательную деятельность, к которой готовит себя человек, можно из множества физических упражнений отобрать способствующие развитию именно этих мышц и их координации.

В зависимости от того, какая часть всей мышечной массы тела задействована, различают: глобальную мышечную работу (более 2/3), регионарную (от 1/3 до 2/3) и локальную (менее 1/3). Так, бегуны, пловцы, лыжники выполняют глобальную мышечную работу. К регионарной относится, например, мышечная работа, выполняемая при некоторых общеразвивающих гимнастических упражнениях (подтягивании на перекладине, поднимании ног и верхней части туловища из положения лежа на спине).

Представление о том, какие мышцы задействованы в каждом упражнении, можно получить, регистрируя их электрическую активность. Типичные мышцы, участвующие в исполнении рабочих процессов организмом человека, представлены на рис. 3.5

На рис. 3.6 — пример графического изображения топографии работающих мышц. Хорошо известно, что разные движения отличаются одно от другого по кинематике (внешней картине) и динамике (характеру силовых взаимодействий).

Чем интенсивнее работает мышца, тем выше ее электрическая активность и больше амплитуда электромиограммы, посредством которой определяются энергозатраты организма. Определение энергетических затрат и того, сколько целесообразно расходуется энергия работающих мышц. Для ответа на эти вопросы регистрируют энергетические. Подсчитано, например, что у стайеров высшей квалификации повышение экономичности бега на 20% перемещает бегуна в списке лучших с 10-го на 1-е место.

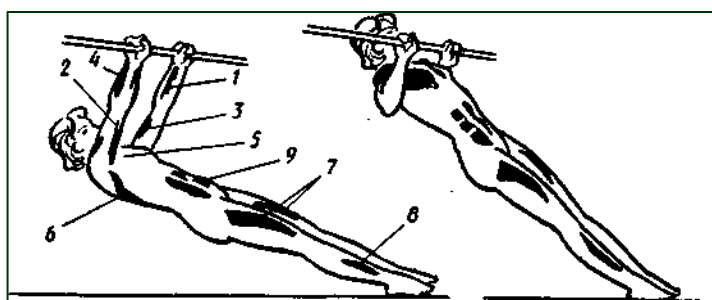


Рисунок 3.6 . Граничные позы при подтягивании в висячем положении на низкой перекладине (штриховкой обозначены наиболее активные мышцы):

1 — мышцы-сгибатели кисти; 2 — трехглавая мышца плеча; 3 — двуглавая мышца плеча; 4 — плечелучевая мышца; 5 — большая грудная мышца; 6 — широчайшая мышца спины; 7 — четырехглавая мышца бедра; 8 — мышцы-разгибатели стопы; 9 — прямая мышца живота

Выявление оптимальных двигательных режимов (наилучшей техники двигательных действий и наилучшей тактики двигательной деятельности) осуществляется на заключительном этапе биомеханического анализа. Здесь же оценивается степень соответствия реально имеющихся мест и оптимальных вариантов техники и тактики. Оптимальным (от лат. Optimus — наилучший) называется наилучший вариант из всех возможных. В спорте (а в последнее время и в оздоровительной физкультуре) постоянно идет поиск оптимальных вариантов техники и тактики и определение степени соответствия реально наблюдаемого двигательного режима оптимальному. Тем самым решается задача оптимизации двигательной деятельности или ее рационализации (если не удастся достичь идеала, но можно к нему приблизиться).

Оптимизацией называют выбор наилучшего варианта из числа возможных. Но что такое наилучший вариант двигательной деятельности? Общего ответа на этот вопрос не существует, поскольку все зависит от конкретной ситуации и поставленной цели. Так, человек, спасающийся от преследователей, не думает о красоте и экономичности. Главное — бежать быстро. Другое дело, гимнастка, выполняющая вольные упражнения. Она стремится двигаться как можно красивее, в соответствии с эстетическими канонами своего вида спорта. В этих ситуациях различны цели людей. И потому неодинаковы критерии оптимальности - показатели, используемые для оценки степени достижения поставленной цели

Экономичность двигательной деятельности обратно пропорциональна энергии, затрачиваемой на единицу выполняемой работы или метр пройденного пути. Это важнейший критерий оптимальности, и мы еще не раз к нему вернемся (рис.2.7).

Механическая производительность тем выше, чем больший объем работы выполняется за определенное время или чем быстрее выполняется данный объем работы. Например, в циклических видах спорта механическая производительность оценивается временем преодоления соревновательной дистанции, а в массовой физической культуре — расстоянием, которое человек может пройти, пробежать или проплыть за 12 мин.

Точность двигательных действий имеет две разновидности: целевая точность и точность воспроизведения заданной внешней картины движений (например, при выполнении “школы” в фигурном катании). Целевая точность оценивается отклонением точки попадания от центра мишени (например, в стрельбе) или отношением числа успешно выполненных двигательных действий к их общему числу (ударов в боксе и спортивных играх, бросков в борьбе, передач и приемов мяча и т. п.).

Рассмотрим несколько общих понятий, которые могут быть полезны при изучении материала.

Эстетичность оценивается близостью кинематики (т. е. Внешней картины движения) к эстетическому идеалу — общепринятому или принятому в данном виде спорта (фигурном катании, художественной гимнастике, синхронном плавании и т. п.).

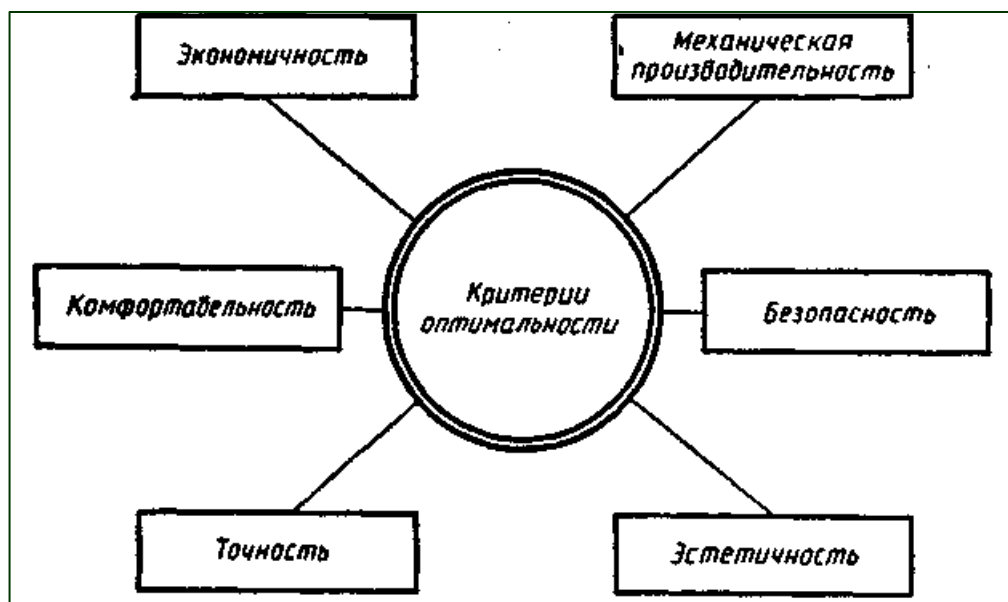


Рисунок 3.7 Критерии оптимальности двигательной деятельности

Комфортабельными считаются плавные движения. Чем больше сотрясается тело при ходьбе, беге и т. П., тем ниже комфортабельность.

Безопасность тем выше, чем меньше вероятность травмы.

Трудоемкость биомеханического анализа и польза от него зависят от того, насколько педагог стремится разобраться в технике и тактике своих учеников. Различают системно-структурный и функциональный подходы к анализу двигательной деятельности.

Функциональный подход позволяет констатировать те или иные несовершенства техники и тактики. Например, на уроке физкультуры можно увидеть, что техника подтягивания у многих отличается от эталонной.

Функциональный подход не дает ответа на этот вопрос. На его знамени написано: овладевать процессом управления без полного раскрытия его внутренней природы. Понятно, что такой путь ненадежен. Не имея ясных рекомендаций для устранения недочетов в технике и тактике, преподаватель вынужден действовать наугад.

Системно-структурный подход дает более конкретные рекомендации. Педагог, применяющий при обучении своих учеников системно-структурный подход, стремится к познанию состава и структуры двигательной деятельности, т. е. к ответу на вопросы, из каких элементов она состоит и как они связаны между собой. Кроме того, выясняют внутренние механизмы, т. е. стремятся ответить на вопрос, почему двигательные действия выполнены именно так, а не иначе. Наиболее широко распространенным приемом системно-структурного подхода является выполняемое по определенным правилам разделение двигательного действия на части

Функциональный и системно-структурный подходы к анализу и совершенствованию двигательной деятельности дополняют друг друга. Применяя системно-структурный подход, педагог ведет анализ от сложного к простому. Элементы двигательной деятельности, находящиеся на нижней ступени иерархической лестницы, остаются нераскрытыми, недетализированными и рассматриваются уже с позиций функционального подхода. Уровень, на котором системно-структурный подход переходит в функциональный, зависит от решаемых задач.

Например, при тактической подготовке двигательные действия (технические элементы) считаются “неделимыми кирпичиками”, из которых складывается двигательная деятельность. А при технической подготовке детально изучается взаимодействие мышц, костей, суставно-связочного аппарата. Но по отношению к отдельным элементам двигательного аппарата применяется функциональный подход: их строение и функционирование на молекулярном уровне обычно не рассматриваются.

В современной биомеханике гармонично переплетаются идеи и методы оптимизации двигательной деятельности, функционального и системно-структурного подходов, автоматизированного контроля за технико-тактическим мастерством, моделирования техники и тактики на электронно-вычислительных машинах. Но главным остается мысль и труд исследователя, постигающего закономерности движений, и педагога, который использует эти достижения в учебном и тренировочном процессах.

Двигательный аппарат организма человека

Двигательный аппарат человека — это самодвижущийся механизм, состоящий из 600 мышц, 200 костей, нескольких сотен сухожилий. Эти цифры приблизительны, поскольку некоторые кости (например, кости позвоночного столба, грудной клетки) срослись друг с другом, а многие мышцы имеют несколько головок (например, двуглавая мышца плеча, четырехглавая мышца бедра) или делятся на множество пучков (дельтовидная, большая грудная, прямая мышца живота, широчайшая мышца спины и многие другие). Считается, что двигательная деятельность человека сравнима по сложности с человеческим мозгом — самым совершенным созданием природы. И подобно тому как изучение мозга начинают с исследования его элементов (нейронов), так и в биомеханике прежде всего изучают свойства элементов двигательного аппарата.

Двигательный аппарат состоит из звеньев. Звеном называется часть тела, расположенная между двумя соседними суставами или между суставом и дистальным концом. Например, звеньями тела являются: кисть, предплечье, плечо, голова и т. д.

Механика занимается рассмотрением простейшей формы движения материи – механической. Такое движение состоит в изменении взаимного расположения тел или их частей в пространстве с течением времени. При анализе необходимо исходить из ряда основных понятий. Рассмотрим их в отдельности.

Материальной точкой называется тело, размеры и форма которого несущественны в рассматриваемой задаче. Например, при изучении скорости прохождения дистанции марафонцем нет никакой необходимости рассматривать части тела спортсмена в отдельности, поскольку размеры атлета и расстояние, им пройденной, отличаются на четыре порядка величины.

Системой материальных точек или тел (механической системой) называется мысленно выделенная совокупность материальных точек или тел, которые в общем случае взаимодействуют как друг с другом, так и с телами, не включенными в состав этой системы. При определенных условиях биомеханика рассматривает тело спортсмена именно как систему материальных тел.

Классическая механика, т.е. механика, имеющая дело с телами, движущимися с малыми скоростями, в отличие от релятивистской или квантовой механики, рассматривающих движение тел с около-световыми скоростями или движение элементарных частиц, состоит из трех основных отделов: статики, кинематики и динамики.

В статике исследуются законы сложения сил и условия равновесия твердых, жидких и газообразных тел. В кинематике изучается механическое движение тел вне связи с определяющим его взаимодействием между телами. В динамике рассматривается влияние взаимодействия между телами на их механическое движение.

Существенной характеристикой движения является перемещение точки. В зависимости от размерности пространства оно может одно-, двух- или трехмерным (или объемным). Траекторией называется линия, описываемая в пространстве движущейся точкой. Эта линия определяется поведением векторной величины – радиус-вектором – из некоторой точки отсчета.

Положение движущейся точки и некоторый фиксированный момент времени $t=t_0$ называется ее начальным положением. Длина пути точки определяется расстоянием между начальным положением и положением ее в некоторый момент времени t и является скалярной функцией $s=s(t)$.

Движение материальной точки характеризуется ее скоростью. В случае равномерного движения (т.е. когда точка за равные промежутки времени проходит равный путь) скорость определяется длиной пути, пройденного за все время движения. В общем случае, когда движение неравномерное и меняет свое направление, скорость определяется как векторная величина v , равная первой производной от радиус-вектора r движущейся точки:

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \dot{\mathbf{r}}$$

Скорость направлена по касательной к траектории в сторону движения точки и численно равна первой производной от длины пути по времени:

$$v = \frac{ds}{dt} = \dot{s}$$

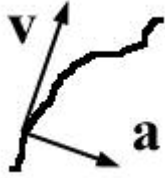
Если точка движется в трехмерном пространстве, описываемом декартовой системой координат, то необходимо рассматривать по отдельности проекции вектора скорости на каждую из осей (x , y , z). В этом случае

$$v_x = \dot{x}, \quad v_y = \dot{y}, \quad v_z = \dot{z} \quad \text{и.п.т.} \quad v = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$$

Быстрота изменения скорости при неравномерном движении характеризуется ускорением a , которое определяется по формуле

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \dot{\mathbf{v}}$$

и



Вектор ускорения проходит через главную нормаль и касательную к траектории направлен в сторону вогнутости траектории. Для трехмерного движения как и в случае со скоростью необходимо работать с каждой из координат.

Движение точки называется ускоренным, если численное значение ее скорости возрастает с течением времени и ускорение имеет положительное значение. Движение точки называется замедленным, если численное значение ее скорости убывает с течением времени и ускорение имеет отрицательное значение.

Если во время движения тела взаимное расположение материальных точек, составляющих его, не меняется, оно не деформируется (не меняет форму и объем) и называется абсолютно твердым телом. Для такого тела характерны следующие виды движения:

- поступательное, когда все точки имеют одинаковые траектории перемещения;
- вращательное, когда движение происходит вокруг оси вращения;
- сложное, когда движение состоит из двух и более простых движений; например, тело может совершать вращательное движение, а ось вращения может двигаться тем временем поступательно.

Для поступательного движения абсолютно твердого тела справедливы законы, приведенные выше. Вращательное движение разбивается на линейную и угловую составляющие.

Угловой скоростью вращения твердого тела называется вектор ω , численно равный первой производной от угла поворота по времени,

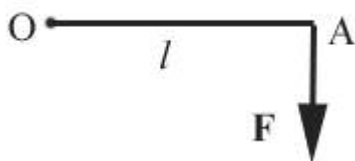
$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \dot{\varphi}$$

Направление вектора ω совпадает с направлением поступательного движения рукоятки буровика.

Линейная скорость v произвольной точки вращающегося тела определяется по формуле Эйлера $v = [\omega R]$, или $v = \omega R$ в скалярном виде, где R – расстояние от оси вращения до точки.

Применительно к спортивной биомеханике законы кинематики действуют в полном объеме. В этом случае мы, как правило, сталкиваемся со сложным движением, связанным с тем, что тело спортсмена представляет собой сложный механизм. При рассмотрении кинематики встречается и сложное движение в суставах при выполнении того или иного упражнения, и переменное движение при беге, когда спортсмен рассматривается как материальная точка.

При этом надо различать:



- динамику поступательного движения, или динамику материальной точки, и
- динамику вращательного движения, или динамику твердого тела.

Силой называется некоторая физическая величина, выражающая взаимодействие между рассматриваемым телом и другими телами или полями. Поэтому все силы можно разделить на две основных категории: силы, проявляющиеся при непосредственном взаимодействии тел, и силы, которые действуют без непосредственного контакта. Ко второй категории относятся силы от полей: гравитационного, электромагнитного и других.

Ускорение тела пропорционально силе, действующей на тело: $F \sim a$. Тогда отношение величины силы, действующей на тело, к приобретенному телом ускорению, постоянно для данного тела и называется массой тела: масса = сила/ускорение.

Масса тела является неизменной характеристикой данного тела, не зависящей от его местоположения. Масса характеризует два свойства тела:

- Инерцию: тело изменяет состояние своего движения только под воздействием внешней силы.

- Тяготение: между телами действуют силы гравитационного притяжения.
- Не путать массу тела (мера инертности) с весом тела (силой с которой оно давит на опору). Простой пример – поведение тел в невесомости. Тогда тела не имеют веса (невесомость), но наличие массы не отменяет выполнения законов Ньютона.

Масса характеризует инертность тела при поступательном движении. При вращении инертность зависит не только от массы, но и от того, как распределена эта масса относительно оси вращения. Чем больше расстояние до оси вращения, тем больше вклад в инертность тела. Количественной мерой инертности тела при вращательном движении служит момент инерции:

$$J = m R_{ин}^2$$

где $R_{ин}$ – радиус инерции – среднее расстояние от оси вращения (например, от оси сустава) до материальных точек тела.

Сила, приложенная к твердому телу, которое может вращаться вокруг некоторой точки, создает момент силы. Момент силы M равен векторному произведению радиус-вектора r на силу F :

$$M = r \times F = rF \sin(\angle r; F)$$

Если на тело, которое может вращаться вокруг какой-либо точки, действуют одновременно несколько сил, то для сложения моментов этих сил следует воспользоваться правилом сложения моментов.

Другой физической величиной, связывающей движение тела с его инертностью, является импульс тела – произведение массы тела на его скорость $p=mv$. Для импульса справедлив закон сохранения, т.е. полный импульс замкнутой системы остается постоянным. Полный импульс такой системы представляет векторную сумму всех импульсов.

Для твердого тела вследствие вращения вокруг некоторой оси появляется момент количества движения (угловой момент, момент импульса) – произведение момента инерции тела на его угловую скорость: $L = J \omega$. Изменение углового момента (при неизменном моменте инерции тела) может произойти только вследствие изменения угловой скорости и всегда обусловлено действием момента силы.

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

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

- определить импульс тела;
- определить момент количества движения, при этом надо учитывать, что величины моментов относительно разных осей неодинаковы;
- оценить, легко или трудно управлять скоростью тела или отдельного звена;
- определить степень устойчивости тела и т.д.

Простой пример применения этой теории. Фигурист может заставить себя вращаться быстрее, обнимая себя руками, или медленнее, расставляя руки в стороны. Во втором случае масса тела остается постоянной, но увеличивается радиус инерции и, следовательно, момент инерции и общая инертность тела.

Звенья и рычаги

Разбиение тела человека на звенья позволяет представить эти звенья как механические рычаги и маятники, потому что все эти звенья имеют точки соединения, которые можно рассматривать либо как точки опоры (для рычага), либо как точки отвеса (для маятника).

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

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

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

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

Закрепление звена приводит к образованию связи, т.е. связанному движению закрепленного звена с точкой закрепления.

Поскольку руки и ноги человека могут совершать колебательные движения, то к механике их движения применимы те же формулы, что и для простых механических маятников. Основные выводы из них – собственная частота колебаний не зависит от массы качающегося тела, но зависит от его длины (при увеличении длины частота колебаний уменьшается).

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

Механические свойства костей и суставов

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

Выделяют 4 вида механического воздействия на кость: растяжение, сжатие, изгиб и кручение.

Установлено, что прочность кости на растяжение почти равна прочности чугуна. При сжатии прочность костей еще выше. Самая массивная кость – большеберцовая (основная кость бедра) выдерживает силу сжатия в 16-18 кН.

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

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

Прочность суставов, как и прочность костей, небеспредельна. Так, давление в суставном хряще не должно превышать 350 Н/см². При более высоком давлении прекращается смазка суставного хряща и увеличивается опасность его механического стирания.

Тема 4. Биомеханические свойства мышц

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

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

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

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

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

Жесткость – это способность противодействовать прикладываемым силам. Коэффициент жесткости определяется как отношение приращения восстанавливающей силы к приращению длины мышцы под действием внешней силы:

$$K_{ж} = \frac{DF}{Dl} [H / M]$$

Величина, обратная жесткости, называется податливостью мышцы. Коэффициент податливости: $K_p = Dl / DF$ (м/Н) – показывает, насколько удлинится мышца при изменении внешней силы.

Например, податливость сгибателя предплечья близка к 1 мм/Н.

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

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

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

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

- высокая точность двигательных действий;
- снижение травматизма.

Энергия рабочих процессов. Биохимия и энергетика

В живых организмах любой процесс сопровождается передачей энергии. Энергию определяют как способность совершать работу. Специальный раздел физики, который изучает свойства и превращения энергии в различных системах, называется термодинамикой. Под термодинамической системой понимают совокупность объектов, условно выделенных из окружающего пространства.

Термодинамические системы разделяют на изолированные, закрытые и открытые. Изолированными называют системы, энергия и масса которых не изменяется, т.е. они не обмениваются с окружающей средой ни веществом, ни энергией. Закрытые системы обмениваются с окружающей средой энергией, но не веществом, поэтому их масса остается постоянной.

Открытыми системами называют системы, обменивающиеся с окружающей средой веществом и энергией. С точки зрения термодинамики живые организмы относятся к открытым системам, так как главное условие их существования - непрерывный обмен веществ и энергии. В основе процессов жизнедеятельности лежат реакции атомов и молекул, протекающие в соответствии с теми же фундаментальными законами, которые управляют такими же реакциями вне организма.

Согласно первому закону термодинамики энергия не исчезает и не возникает вновь, а лишь переходит из одной формы в другую.

Второй закон термодинамики утверждает, что вся энергия, в конце концов, переходит в тепловую энергию, и организация материи становится полностью неупорядоченной. В более строгой форме этот закон формулируется так: энтропия замкнутой системы может только возрастать, а количество полезной энергии (т.е. той, с помощью которой может быть совершена работа) внутри системы может лишь убывать. Под энтропией понимают степень неупорядоченности системы.

Неизбежная тенденция к возрастанию энтропии, сопровождаемая столь же неизбежным превращением полезной химической энергии в бесполезную тепловую, заставляет живые системы захватывать все новые порции энергии (пищи), чтобы поддерживать свое структурное и функциональное состояние. Фактически способность извлекать полезную энергию из окружающей среды является одним из основных свойств, которые отличают живые системы от неживых, т.е. непрерывно идущий обмен веществ и энергии является одним из основных признаков живых существ. Чтобы противостоять увеличению энтропии, поддерживать свою структуру и функции, живые существа должны получать энергию в доступной для них форме из окружающей среды и возвращать в среду эквивалентное количество энергии в форме, менее пригодной для дальнейшего использования.

Обмен веществ и энергии - это совокупность физических, химических и физиологических процессов превращения веществ и энергии в живых организмах, а также обмен веществами и энергией между организмом и окружающей средой. Обмен веществ у живых организмов заключается в поступлении из внешней среды различных веществ, в превращении и использовании их в процессах жизнедеятельности и в выделении образующихся продуктов распада в окружающую среду.

Все происходящие в организме преобразования вещества и энергии объединены общим названием - метаболизм (обмен веществ). На клеточном уровне эти преобразования осуществляются через сложные последовательности реакций, называемые путями метаболизма, и могут включать тысячи разнообразных реакций. Эти реакции протекают не хаотически, а в строго определенной последовательности и регулируются множеством генетических и химических механизмов. Метаболизм можно разделить на два взаимосвязанных, но разнонаправленных процесса: анаболизм (ассимиляция) и катаболизм (диссимиляция).

Анаболизм - это совокупность процессов биосинтеза органических веществ (компонентов клетки и других структур органов и тканей). Он обеспечивает рост, развитие, обновление биологических структур, а также накопление энергии (синтез макроэргов). Анаболизм заключается в химической модификации и перестройке поступающих с пищей молекул в другие более сложные биологические молекулы. Например, включение аминокислот в синтезируемые клеткой белки в соответствии с инструкцией, содержащейся в генетическом материале данной клетки.

Катаболизм - это совокупность процессов расщепления сложных молекул до более простых веществ с использованием части из них в качестве субстратов для биосинтеза и расщеплением другой части до конечных продуктов метаболизма с образованием энергии. К конечным продуктам метаболизма относятся вода (у человека примерно 350 мл в день), двуокись углерода (около 230 мл/мин), окись углерода (0,007 мл/мин), мочевины (около 30 г/день), а также другие вещества, содержащие азот (примерно 6 г/день).

Катаболизм обеспечивает извлечение химической энергии из содержащихся в пище молекул и использование этой энергии на обеспечение необходимых функций. Например, образование свободных аминокислот в результате расщепления поступающих с пищей белков и последующее окисление этих аминокислот в клетке с образованием CO_2 , и H_2O , что сопровождается высвобождением энергии.

Процессы анаболизма и катаболизма находятся в организме в состоянии динамического равновесия. Преобладание анаболических процессов над катаболическими приводит к росту, накоплению массы тканей, а преобладание катаболических процессов ведет к частичному разрушению тканевых структур. Состояние равновесного или неравновесного соотношения анаболизма и катаболизма зависит от возраста (в детском возрасте преобладает анаболизм, у взрослых обычно наблюдается равнове-

сие, в старческом возрасте преобладает катаболизм), состояния здоровья, выполняемой организмом физической или психоэмоциональной нагрузки.

Глюкоза и жирные кислоты являются основными субстратами, обеспечивающими организм энергией. Они входят в состав пищи. Но есть и другие природные факторы, необходимые организму для поддержания жизнедеятельности. Это – тепло и свет. Ферментативные системы работают в условиях низкотемпературного тепла в диапазоне от 4° до 42°С. 4°С – нижний температурный предел существования воды в жидкой фазе (температура таяния льда). В древности талую воду называли «живой», так как превращение твердого льда в жидкую воду создавало возможности для деятельности живых существ. Верхняя температурная граница была установлена экспериментально при изучении пределов адаптационных возможностей клеток. Клетка дифференцированного организма, адаптируясь к высокой температуре, синтезирует белки теплового шока (шапероны). При достижении 42°С синтез шаперонов прекращается и клетка погибает. Для каждой ферментативной системы существует свой оптимум температурного режима.

Энергия света необходима для синтеза глюкозы. Когда глюкозы в среде достаточно, энергия света становится неостребованной. Третий источник энергии для живых существ – пища, которая включает три основных компонента – белки жиры и углеводы. Используется энергия распада этих компонентов. Распад (окисление) осуществляется в два этапа. На первом этапе все три компонента распадаются с образованием конечного продукта – ацетил-КоА. Затем ацетил-КоА сжигается в митохондриях при участии молекулярного кислорода. Энергия высвобождается в виде протонов и электронов и запасается в форме АТФ. В отсутствие синтеза АТФ энергия диссипирует в виде тепла.

Энергия пищи – это энергия, высвобождающаяся при распаде трех основных ее компонентов – жиров, белков и углеводов. По энергоемкости эти компоненты располагаются в ряду: жирные кислоты-глюкоза-аминокислоты, где жирные кислоты являются наиболее энергоемкими субстратами. Глюкоза может быть синтезирована из продуктов окисления как жирных кислот, так и аминокислот (глюконеогенез). При этом жирные кислоты служат источником образования глюкозы только в растениях, но не у высших животных. У животных для глюконеогенеза используется белок (аминокислоты).

Старение принято считать процессом разрушения. Разрушение есть движение к беспорядку, к возрастанию числа случайных (стохастических) событий. По нашему мнению, старение есть движение к равновесию. Между тем, существует пришедшее из термодинамики отождествление равновесия с хаосом.

Но в древности хаосом именовали однородное состояние, безразлично, упорядочено оно или нет. Однородное состояние – это система, элементы которой абсолютно идентичны. Из однородного состояния «вырастает» мир как разнообразие. Разнообразие – условие функционирования, а структуры можно строить из однородных элементов. Примерами таких структур являются алмаз и графит, которые предельно упорядочены. Структура, собранная из однородных элементов, хаотична. Но алмаз и графит – разные структуры, т.е. из хаоса однородных состояний создается функциональное и структурное разнообразие. Однородное состояние абсолютно равновесно. Движение к хаосу – это движение к однородности и равновесию, к затуханию разнообразия и функциональности, но не разрушение структуры. Структура становится более однородной. Если старение есть движение к равновесию, то это – движение к однородности, к структуре однородного кристалла. Примерами биогенных кристаллов могут быть полимеры углеводов (гликоген, крахмал, древесина), структурные белки, жиры, образующие кристаллические упаковки, холестерин и эфиры холестерина и т.д. Старение обусловлено накоплением этих продуктов в организме живого существа.

Тема 5. Биологическая термодинамика

Важнейшее свойство живых организмов заключается в их способности улавливать, преобразовывать и запасать энергию в различных формах. Общие законы, определяющие превращения энергии, изучаются термодинамикой.

Законы термодинамики универсальны для неживой и живой природы, но, формулируя их, мы не исследуем конкретной сущности процессов, происходящих при нагревании воды или при развитии эмбриона. Термодинамика наука феноменологическая (от слова «феномен» — явление). Феноменологические теории, в отличие от атомно-молекулярных, изучают закономерности, не связанные с конкретной структурой вещества.

Любую часть окружающего нас мира, которую мы хотим исследовать и описать с позиций термодинамики, называют системой. В качестве примера интересующих нас термодинамических систем можно назвать клетку, митохондрию, сердце, организм, биосферу. Следует, однако, отметить, что методы термодинамики применимы только к макроскопическим системам, состоящим из большого числа частиц. Система, которая не может обмениваться со средой ни энергией, ни веществом, называется изолированной, если происходит обмен только энергией, то система называется замкнутой, а если и энергией и веществом — открытой. Живой организм в целом система открытая.

И лишь в отдельных частях клетки могут существовать условия, характерные для замкнутой и даже изолированной системы. Рассматривая применение законов термодинамики к биологическим проблемам, нам придется напомнить некоторые понятия и уравнения, известные из курса физической химии.

Первый и второй законы термодинамики

Согласно первому закону термодинамики, различные виды энергии могут переходить друг в друга, но при этих превращениях энергия не исчезает и не появляется из ничего. Это означает, что для замкнутой системы $\Delta U = \Delta Q - W$, где ΔU — изменение внутренней энергии системы; ΔQ — тепло, поглощенное системой; W — работа, совершенная системой над ее окружением.

Внутренняя энергия отличается от теплоты и работы тем, что она всегда меняется одинаково при переходе из одного состояния в другое независимо от пути перехода.

Применимость первого закона термодинамики к живым системам была продемонстрирована в начале XX века. В серии работ с микроорганизмами показано, что энергия, поступающая в бактерии с пищей, разделяется в процессе потребления на две части:

1) выделяющуюся в среду в виде тепла и энергии, содержащейся в продуктах жизнедеятельности; 2) запасаемую в клеточном материале (эта энергия выявляется с помощью сжигания объектов в калориметрической бомбе).

Сумма этих двух частей равна внутренней энергии поступающей пищи. Аналогичные экспериментальные подтверждения первого начала термодинамики были получены при изучении теплового баланса человека с помощью калориметра, представляющего собой изолированную камеру, куда помещался человек.

Изменение тепловой энергии ΔQ изолированной системы пропорционально абсолютной температуре (T); коэффициент пропорциональности называется изменением энтропии (ΔS): $\Delta Q = T\Delta S$. Согласно второму закону термодинамики, энтропия изолированной системы возрастает в необратимом процессе и остается неизменной в обратимом процессе. Рост энтропии при самопроизвольных процессах означает переход системы, состоящей из большого числа молекул, в более вероятное состояние. Для характеристики систем, состоящих из большого числа частиц, используется понятие термодинамической вероятности ω . Термодинамическая вероятность равна числу микросостояний, которыми может быть обеспечено данное макросостояние.

Для примера рассмотрим, сколько микросостояний может иметь система, в которой 4 молекулы: а, б, в, г — распределяются по разные стороны мембраны. Каждому макросостоянию системы соответствует своя термодинамическая вероятность. Например, макросостоянию 2/2, в котором по каждую сторону мембраны находятся по две молекулы, соответствуют 6 микросостояний ($\omega = 6$): аб/вг, ав/бг, аг/бв, вг/аб, бг/ав, бв/аг. Аналогично можно подсчитать термодинамическую вероятность других макросостояний:

Таблица 5.1 Микросостояний системы

Макросостояние	0/4	1/3	2/2	3/1	4/0
ω	1	4	6	4	1

Видно, что для макросостояния 2/2 число микросостояний ω максимально и равно 6. Совершенно ясно, что система в каждый данный момент времени вероятнее всего окажется в состоянии с максимальным ω , т. е. состоянии 2/2. И поэтому самопроизвольные процессы будут идти в сторону этого макросостояния.

Сравнительно нетрудно показать, что между величиной w и энтропией существует соотношение

$$S = k \ln w, \quad (5.1)$$

где k — постоянная Больцмана.

Это соотношение означает, что энтропия есть мера неупорядоченности системы: стремление энтропии к росту связано с тенденцией системы перейти в состояние с большей термодинамической вероятностью, т.е. менее упорядоченное. Примеры перехода систем в наиболее вероятное состояние показаны на рис. 5.1.

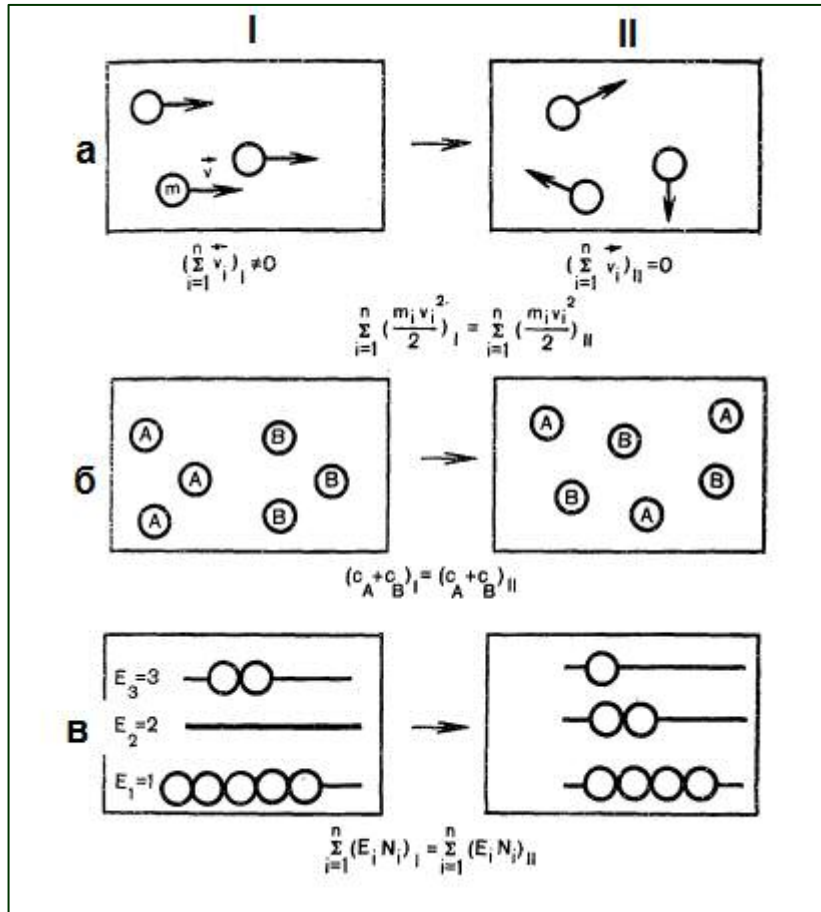


Рисунок 5.1. Примеры перехода систем в наиболее вероятное состояние

в направлении $I \rightarrow II$ ($S_{II} > S_I$).

a — изменение ориентации частиц (превращение кинетической энергии движущегося тела в тепло);

б — изменение распределения частиц в пространстве (диффузия);

в — изменение распределения частиц по энергетическим уровням;

m_i — масса i -й частицы; V_i и V_i — вектор скорости и его модуль i -й частицы;

c_A, c_B — концентрация частиц типа A и B соответственно; E_i — энергия i -го энергетического уровня в условных единицах; N_i — число частиц на i -м энергетическом уровне; n — число частиц в системе.

Из второго закона термодинамики следует невозможность превратить при постоянной температуре тепловую энергию в механическую работу. Работа связана с однонаправленным перемещением тел (зарядов и масс), т.е. с движением всех входящих в данное тело молекул в одном направлении.

Именно поэтому кинетическую энергию летящего тела в принципе можно целиком превратить в работу. В работу можно превратить электрическую энергию, представляющую собой однонаправленное движение ионов или электронов в электрическом поле.

Тепловая энергия обусловлена хаотическим движением частиц, сумма векторов скорости которых в любом направлении равна нулю (рис. 3.1, а, состояние II). Поэтому кинетическая энергия этого теплового движения частиц не может быть непосредственно использована для работы.

Превращение энергии в живой клетке

Солнечные лучи, поглощаясь зеленым листом, осуществляют процессы фотосинтеза, при которых энергия света $E_c = nh\nu$ (где n — число поглощенных хлорофиллом фотонов; ν — частота электромагнитных колебаний) превращается в химическую энергию E_x , «запасенную» в органических соединениях, например, в глюкозе.

Химическая энергия глюкозы превращается в ходе клеточного окисления частично в тепло, а частично — в другую форму химической энергии, в энергию макроэргических связей АТФ. За счет гидролиза АТФ может происходить перенос веществ из области меньшей в область большей концентрации (осмотическая работа), перенос ионов в область более высокого электрического потенциала (электрическая работа), в организме животного — сокращение мышц (механическая работа). При этом происходит перевод части химической энергии АТФ в осмотическую электрическую и механическую энергию. В дальнейшем нам понадобятся приводимые в табл. 1 формулы и понятия, описывающие изменение количеств различных форм энергии и соответствующую этому работу при переходе системы из некоторого состояния 1 в состояние 2.

Таблица 3.2 Основные формы энергии в биосистемах

Форма энергии	Энергия в расчете:	
	на 1 молекулу	на 1 моль
Электрическая	$ze (\varphi_2 - \varphi_1)$	$z F(\varphi_2 - \varphi_1)$
Осмотическая	$kT \ln \frac{c_2}{c_1}$	$RT \ln \frac{c_2}{c_1}$
Химическая	$\mu'_{u2} - \mu'_{u1}$	$\mu'_{u2} - \mu'_{u1}$

Примечание. e — заряд электрона ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл); F — заряд моля одновалентных ионов (число Фарадея) $F = N_A \cdot e = 9,65 \cdot 10^7$ Кл/кмоль; N_A — число молекул в моле вещества (число Авогадро), $N^A = 6,02 \cdot 10^{26}$ кмоль⁻¹; z — заряд иона в единицах элементарного заряда; R — универсальная газовая постоянная, равная $8,31 \cdot 10^3$ Дж/(кмоль · К); T — абсолютная температура (К); c — молярная концентрация; k — постоянная Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; φ — электрический потенциал; μ — химические потенциалы в состоянии 1 и 2.

Свободная энергия и электрохимический потенциал

Электрическая, осмотическая и химическая энергии могут быть использованы для совершения работы, т.е. для направленного перемещения тела против действующих на него сил. Количественной мерой превращения этих видов энергии служит изменение так называемой свободной энергии.

Тепловая энергия при постоянной температуре может быть использована для совершения работы. Протекание химических реакций в жидкой фазе не изменяет давления, но может вызывать изменение объема. Поэтому для таких систем вместо изменения внутренней энергии системы используется изменение ее энтальпии (ΔH), которое равно

$$\Delta U + p\Delta V, \quad (5.2)$$

где p — давление, ΔV — изменение объема.

Между изменением свободной энергии ΔG и изменением энтальпии ΔH при постоянном давлении и температуре существует соотношение, вытекающее из первого и второго законов термодинамики:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (3.2)$$

В физико-химических системах изменение свободной энергии обычно описывают через изменение электрохимического потенциала μ :

$$\Delta G = m \cdot \Delta\mu \quad (5.3)$$

где m — количество вещества (моли) в системе. Изменение электрохимического потенциала при переходе системы из состояния 1 в 2 определяется изменением химической, осмотической и электрической энергий (см. табл. 3.1):

$$\Delta\mu = \mu_{02} - \mu_{01} + RT \ln\left(\frac{c_2}{c_1}\right) + zF(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (5.4)$$

Физический смысл электрохимического потенциала заключается в том, что его изменение равно работе, которую необходимо затратить, чтобы:

а) синтезировать 1 моль вещества (состояние 2) из исходных веществ (состояние 1) и поместить его в растворитель (слагаемое $\mu_{02} - \mu_{01}$);

б) сконцентрировать раствор от концентрации c_1 до c_2 (слагаемое $RT \ln\left(\frac{c_2}{c_1}\right)$);

в) преодолеть силы электрического отталкивания, возникающие при наличии разности потенциалов ($\varphi_2 - \varphi_1$) между растворами [слагаемое $zF(\varphi_2 - \varphi_1)$].

Заметим, что эти слагаемые могут быть как положительными, так и отрицательными.

Рассмотрим в качестве примера, как изменяется величина электрохимического потенциала при переносе ионов Na через мембрану нервной клетки. Этот процесс совершается ферментом Na⁺, K⁺-АТФ-азой и обеспечивается энергией гидролиза АТФ. Ион натрия при этом переносится из клетки наружу. Концентрация Na⁺ внутри клеток (c_1) равна 0,015 моль/л, а снаружи (c_2) — 0,15 моль/л. Осмотическая работа на каждый моль перенесенного иона равна при 37°C $RT \ln(0,15/0,015) = 5,9$ кДж/моль.

Внутри клетки электрический потенциал составляет $\varphi_1 = -60$ мВ, если принять наружный потенциал $\varphi_2 = 0$. Электрическая работа составляет:

$$zF\Delta\varphi = 9,65 \times 10^4 \text{ Кл/моль} \cdot 60 \cdot 10^{-3} \text{ В} = 5,8 \text{ кДж/моль.}$$

Так как с Na⁺ при его переносе через мембрану в конечном счете не происходит никаких химических превращений и он оказывается примерно в таком же водном окружении, что и раньше, то $\Delta\mu_0 = 0$. Отсюда по уравнению (3.4) находим $\Delta\mu = 0 + 5,9 + 5,8 = 11,7$ кДж/моль.

Второй закон термодинамики гласит, что в изолированной системе не может увеличиваться свободная энергия. Иначе говоря, в системе, где $\Delta H = 0$ [см. уравнение (3.2)], $\Delta G = -T\Delta S \leq 0$. Пока энергетические превращения в данной системе сопровождаются переходами разных видов энергии друг в друга без их перехода в тепло, $\Delta G = 0$, все эти процессы обратимы. Как только часть энергии превратится в тепловую, процесс становится необратимым в той степени, в которой произошел этот переход. Понятие обратимости процесса тесно связано с понятием динамического равновесия. Равновесие — это такое состояние системы, при котором каждая частица может переходить из некоторого состояния 1 в некоторое состояние 2 и обратно, но в целом доля состояний 1 и состояний 2 в системе не изменяется.

Запишем уравнение константы химического равновесия. При чисто химической реакции $\mu_2 = \mu_1$, и в состоянии равновесия

$$-RT \ln\left(\frac{[B]}{[A]}\right) = \mu_{0B} - \mu_{0A} \quad \text{или} \quad \Delta\mu_0 = -RT \ln K \quad (5.5.)$$

где K — константа химического равновесия; μ_{0A} , μ_{0B} — химические потенциалы состояний А и В.

При применении термодинамики к биологическим системам необходимо учитывать особенности организации живых систем:

- 1) биологические системы открыты для потоков вещества и энергии;
- 2) процессы в живых системах в конечном счете имеют необратимый характер;
- 3) живые системы далеки от равновесия; 4) биологические системы гетерофазны, структурированы и отдельные фазы могут иметь небольшое число молекул.

Все это отличает биологические системы от изолированных и близких к состоянию равновесия систем, в которых, как это делалось в предыдущих разделах, рассматриваются обратимые процессы в гомогенной среде, содержащей огромное множество молекул. Для более адекватного описания свойств биологических систем во многих случаях полезно применение термодинамики необратимых процессов, основателями которой считают лауреатов Нобелевской премии по химии Л. Онзагера и И. Пригожина.

В отличие от классической термодинамики, в термодинамике необратимых процессов рассматривается ход процессов во времени. Фундаментальное понятие классической термодинамики — равновесное состояние. В термодинамике необратимых процессов столь же важным понятием можно считать стационарное состояние системы.

В отличие от термодинамического равновесия стационарное состояние характеризуется:

- 1) постоянным притоком веществ в систему и удалением продуктов обмена (в данном случае — приток АТФ и удаление Na^+);
- 2) постоянной затратой свободной энергии, которая поддерживает постоянство концентраций веществ в системе;

Рассмотрение понятия энергетических затрат на клеточном уровне создает хорошие основания расширить эти представления на отдельные подсистемы и организм в целом. И здесь на смену термодинамики приходят хорошо известные понятия из классической механики.

Если на частицу подействовать силой F и переместить ее на расстояние s , то сила совершит работу $A = Fs = F s \cos(\angle F; s)$ (угол $(F; s)$ между направлением силы и перемещения рассматривается тогда, когда эти вектора не совпадают по направлению). Единицей измерения работы является Джоуль (в системе СИ) или киловатт-час.

Мощностью называется работа, совершаемая за единицу времени, или $W = A/t = Fv$. По последней формуле можно определить мощность коротких интенсивных движений (ударов по мячу, боксерских ударов и других ударных действий), когда механическую работу определить трудно, но можно измерить силу и скорость. Единица измерения мощности – ватт (Дж/с) (СИ) или лошадиная сила.

Если материальная точка находится в поле (гравитационном, электромагнитном), на нее действует сила F от этого поля, имеющая возможность совершать определенную работу. Этот запас работы, предопределяемый положением точки в поле, является ее потенциальной энергией. Принято считать, что если силы, действующие на материальную точку, совершают положительную работу, то ее потенциальная энергия убывает.

При рассмотрении деформируемого тела часто используют понятие «внутренней потенциальной энергии», которая равна работе деформации, взятой с обратным знаком.

Любое движущееся с поступательной скоростью v тело массой m обладает кинетической энергией, равной $E_k = (1/2)mv^2$.

Аналогичную формулу можно записать для вращающегося с угловой скоростью ω твердого тела с центром инерции J :

$$E_{\text{квр}} = (1/2) J \omega^2.$$

Полная энергия движущегося тела равна сумме его потенциальной энергии и кинетической энергии в поступательном и вращательном движениях:

$$E = mgh + \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}$$

Если рассматриваем замкнутую систему, т.е. систему, а которую не оказывают влияние внешние силы, то для такой системы справедливо первое начало термодинамики: энергия в заданной замкнутой механической системе сохраняется. Иначе – это закон сохранения энергии.

Если на систему действуют внешние силы и она переходит из одного состояния в другое, то изменение полной механической энергии при этом переходе равно работе внешних сил. В деформируемых телах полная энергия равна сумме внутренней и кинетической энергий.

Переход одного вида механической энергии в другой называется рекуперацией механической энергии. Простой пример – вращение гимнаста на перекладине, когда вращательная кинетическая энергия переходит целиком в потенциальную в верхней точке и наоборот – в нижней.

Оценка энергетических показателей деятельности спортсмена осуществляется с использованием различного рода датчиков и тестов. С их помощью можно оценить физическое состояние спортсмена и уровень его потенциальных возможностей.

Тема 6. Механика. Система координат

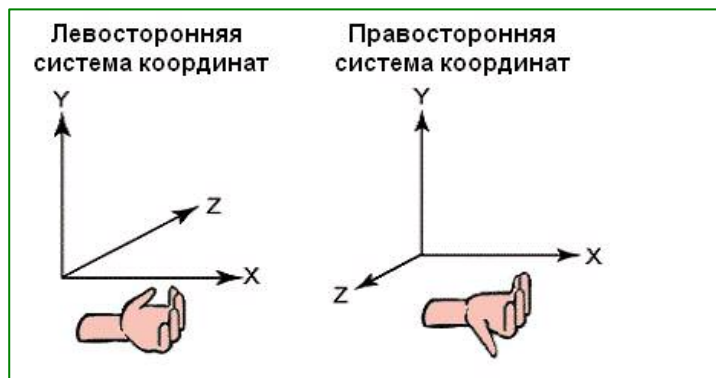


Рисунок 6.1 Система координат

Движения вокруг осей.

Тело человека можно разбить на 15 звеньев, которые имеют между собой сочленения и представляются рычагами или маятниками. Поэтому одним из основных является интерес биомеханики к движению звена в точке сочленения – суставе.

Рассмотрим рычаг первого рода. В этом случае его движение можно описать как вращательное движение вокруг точки, при котором одна его точка O (точка сочленения) остается неподвижной, а все другие точки движутся по поверхностям сфер, имеющих центр в точке O . При таком вращательном движении тела любое его элементарное перемещение представляет собой элементарный поворот вокруг некоторой оси, проходящей через точку O и называемой мгновенной осью вращения. Поскольку сочленение относится к телу спортсмена, то оно непрерывно изменяет свое положение в пространстве. В результате вращательное движение тела складывается из серии элементарных поворотов вокруг непрерывно меняющихся свое направление мгновенных осей.

Подобно тому как причиной ускоренного движения материальной точки или ускоренного поступательного движения твердого тела может быть только приложенная к ним сила, причиной начала, изменения или прекращения вращательного движения твердого тела (при этом вращательное ускорение не равно нулю) относительно какой-либо оси является момент силы M относительно этой оси.

Рычаг второго рода



Рисунок 6.2 Рычаг второго рода

Пусть имеется тело, которое может вращаться вокруг неподвижной оси, и к нему в какой-то точке приложена сила F . Найдем проекцию F_n приложенной к телу силы F на плоскость, проходящую через точку приложения силы перпендикулярно к оси вращения, а также кратчайшее расстояние r от оси вращения до линии действия силы F_n , которое носит название плеча силы. Момент силы F относительно оси вращения определяется как физическая величина, численное значение которой равно произведению проекции F_n действующей на тело силы на длину плеча r : $M = F_n r$.

Если проекция приложенной к телу силы F на плоскость, перпендикулярную к оси вращения, равна нулю ($F_n = 0$), что возможно, когда сила F параллельна оси вращения, или если линия действия силы F пересекает ось вращения, то в этих случаях силы не смогут изменить вращательного движения тела, не смогут явиться причинами отличного от нуля углового ускорения.

Таким образом, сила не является величиной, достаточной для описания и расчета вращательного движения тела. Необходимо рассматривать также ее пространственное направление.

Условием равновесия твердого тела, которое может совершать вращательное движение вокруг какой-либо оси, является равенство сумм моментов сил, вращающих тело вокруг этой оси по направлению движения M_i и в противоположном направлении M_j : $M_1 + M_2 + M_3 + \dots = M_1 + M_2 + M_3 + \dots$

Таким образом, из вышесказанного можно сделать простой вывод: чтобы звено человеческого тела привести во вращательное движение, то направление действия силы не должно быть параллельно оси вращения этого звена или проходить через точку сочленения.

Другим важным понятием является центр тяжести тела или системы тел – единственная точка, относительно которой сумма моментов сил тяжести всех частиц тела или системы тел равна нулю. При этом нельзя забывать, что центр тяжести иногда находится вне геометрических пределов тела. Центр тяжести имеет большое значение при оценке вида равновесия тела. В зависимости от расположения точки опоры или опорной поверхности по отношению к центру тяжести различают устойчивое, неустойчивое и безразличное равновесие.

Опорной поверхностью будем называть поверхность того тела, равновесием которого мы интересуемся, а не поверхность какого-либо другого тела, с которым первое соприкасается. (Например, опорной поверхностью для тяжелоатлета будет поверхность подошв обуви, а не вся поверхность помоста.) Тело находится в устойчивом равновесии, если его центр тяжести располагается ниже точки опоры или ниже горизонтальной опорной поверхности, причем линия действия силы тяжести проходит через точку опоры или пересекает горизонтальную опорную поверхность; в неустойчивом равновесии, если центр тяжести находится выше горизонтальной опорной поверхности, причем линия действия силы тяжести не пересекает опорной поверхности, и в безразличном равновесии, если центр тяжести совпадает с точкой опоры. Равновесие тела будет устойчивым и в том случае, если центр тяжести находится выше горизонтальной опорной плоскости, но линия действия силы тяжести тела пересекает эту плоскость.

Таким образом, если спортсмен стоит, то равновесие его тела будет устойчивым, поскольку хотя центр тяжести и находится выше опорной плоскости, но линия действия силы тяжести проходит через центр тяжести спортсмена. При отклонении от вертикального положения, особенно с нагрузкой в руках, равновесие спортсмена из устойчивого переходит в неустойчивое из-за изменения линии действия силы тяжести относительно центра тяжести.

Для вращающегося твердого тела через центр тяжести (центр масс) можно провести сколь угодно много осей вращения. Однако, исходя из геометрической формы тела и распределения массы в нем, можно выделить две взаимно перпендикулярных оси с наибольшим и наименьшим моментами инерции. Устойчивое вращение незакрепленного тела возможно только вокруг этих осей. Устойчивое вращение тела вокруг оси, перпендикулярной двум первым, невозможно. Все три оси называются главными осями инерции данного тела.

Любой контакт с опорной поверхностью добавляет дополнительную точку или ось вращения, что сказывается на характере движения спортсмена.

Локомоторные движения

У всех локомоторных движений общая двигательная задача – усилиями мышц передвигать тело человека относительно опоры или среды. Среди передвижений относительно опоры (наземных передвижений) наибольшее распространение имеют шагательные. В водной среде применяется как отталкивание, так и притягивание. В некоторых видах спорта (спортивных играх, единоборствах, гимнастике и др.) локомоторные движения играют вспомогательную роль.

Отталкивание от опоры выполняется посредством:

- а) собственно отталкивания ногами от опоры и
- б) маховых движений свободными конечностями и другими звеньями.

Эти движения тесно взаимосвязаны в едином действии – отталкивании. От их согласования в значительной мере зависит совершенство отталкивания.

При отталкивании опорные звенья неподвижны относительно опоры, а подвижные звенья под действием силы тяги мышц передвигаются в общем направлении отталкивания. Во время отталкивания легкоатлета от опоры стопа зафиксирована на опоре неподвижно. Шипы туфель, погружаясь в покрытие дорожки или брусочек, обеспечивают надежное соединение с опорой. На стопу как на опорное звено со стороны голени действует давление ускоряемых звеньев тела, направленное назад и вниз. Через стопу оно передается на опору. Противодействием этому давлению служит реакция опоры. Она приложена к стопе в направлении вперед и вверх.

Силы мышечных тяг толчковой ноги выпрямляют ее. Поскольку стопа фиксирована на опоре, голень и бедро передают ускоряющее воздействие отталкивания через таз остальным звеньям тела. При ускоренном движении подвижных звеньев на них воздействуют тормозящие силы (тяжести и инерции) других звеньев, а также силы сопротивления мышц-антагонистов. Реакция опоры при отталкивании является той внешней силой, которая обеспечивает ускорение телу спортсмена и передвижение его центра масс.

Однако, тело человека – это самодвижущаяся система. В такой системе силы тяги мышц приложены к подвижным звеньям. Относительно каждого звена сила тяги мышцы, приложенная к нему извне, служит внешней силой. Следовательно, ускорения центров масс подвижных звеньев обусловлены соответствующими внешними для них силами, т.е. тягой мышц.

Реакция опоры не является источником работы. По закону сохранения кинетической энергии изменение кинетической энергии равно сумме работ внешних и внутренних сил. Поскольку работа внешних сил (опоры) равна нулю, то кинетическую энергию спортсмена изменяет только работа внутренних сил (мышц).

Реакция опоры при отталкивании под углом, отличающегося от прямого (не перпендикулярно к опорной поверхности), наклонены к опорной поверхности и имеют вертикальные и горизонтальные составляющие. Вертикальные составляющие обусловлены динамическим весом, т.е. суммой веса и сил инерции подвижных звеньев, имеющих ускорение (или его составляющую), направленное вертикально вверх от опоры. Горизонтальные составляющие реакций опоры обусловлены горизонтальными состав-

ляющими сил инерции подвижных звеньев. Контакт опорных звеньев с опорой не точечный, поэтому могут появиться и вращательные усилия, что усложнит схему реакции опоры.

Маховые движения при отталкивании – это быстрые движения свободных звеньев тела в основном по направлению с отталкиванием ногой от опоры. При маховых движениях перемещаются центры масс соответствующих звеньев тела, что ведет к перемещению общего центра масс (ОЦМ) всего тела. Так, при прыжках в высоту в результате маховых движений руками и свободной ногой ОЦМ к моменту отрыва от опоры поднимается выше, чем без маховых движений. Если ускорение звеньев тела, выполняющих маховые движения, увеличивается, то и ускорение ОЦМ увеличивается. Таким образом, маховые движения, как и отталкивание ногой, осуществляют перемещение и ускорение ОЦМ.

В маховых движениях в фазе разгона скорость звеньев увеличивается до максимума. С нарастанием ее нарастает и скорость ЦМ всего тела. Следовательно, чем выше скорость маховых звеньев, тем она больше сказывается на скорости ОЦМ. В фазе торможения мышцы-антагонисты, растягиваясь, напрягаются и этим замедляют движения маховых звеньев, совершая отрицательную работу (в уступающем режиме), скорость их уменьшается до нуля.

Мышечные тяги перераспределяют скорости звеньев тела; движение внутри системы передается от одних звеньев к другим. Поэтому для достижения более высокой скорости ОЦМ нужно стараться продлить фазу разгона на большей части пути матового перемещения.

Когда ускорения маховых звеньев направлены от опоры, возникают силы инерции этих звеньев, направленные к опоре. Совместно с весом тела они нагружают мышцы опорной ноги и этим увеличивают их напряжение. Дополнительная нагрузка замедляет сокращение мышц и увеличивает их силу тяги, в результате чего мышцы толчковой ноги напрягаются больше и сокращаются относительно дольше. В связи с этим увеличивается и импульс силы, равный произведению силы на время ее действия, а большой импульс силы дает большой прирост количества движения, т. е. больше увеличивает скорость.

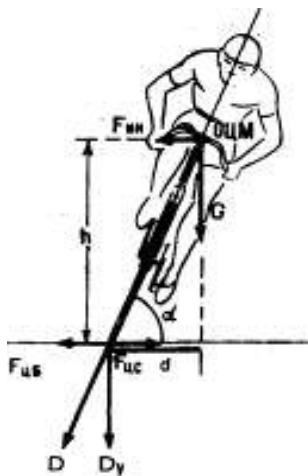
В фазе торможения маховых звеньев их ускорения направлены к опоре, а силы инерции – от нее. Следовательно, нагрузка на мышцы толчковой ноги в это время уменьшается, их сила тяги падает, но быстрота сокращения увеличивается. Сокращаясь быстрее, они могут добавлять скорость в последние моменты отталкивания.

Так, маховые движения способствуют продвижению ОЦМ тела при отталкивании, увеличивают скорость ЦМ, увеличивают силу и удлиняют время отталкивания ногой и, наконец, создают условия для быстрого завершающего отталкивания.

Угол наклона динамической опорной реакции дает представление о некоторых особенностях направления отталкивания от опоры в данный момент времени.

При выпрямлении ноги во время отталкивания от опоры происходит сложение вращательных движений звеньев тела.

По координатам ОЦМ тела человека за время отталкивания можно рассчитать линейное ускорение ОЦМ в каждый момент времени. Однако сопутствующие движения, в том числе маховые, обуславливают кроме линейного ускорения ОЦМ еще и угловые ускорения многих звеньев.



Поэтому угол отталкивания как угол наклона динамической составляющей реакции опоры характеризует не полностью общее направление отталкивания в каждый данный момент времени. Если бы существовала внешняя движущая сила отталкивания, то угол ее наклона к горизонту можно было бы считать углом отталкивания. Однако в самодвижущейся системе к каждому звену приложены силы, которые в совокупности определяют движения именно данного звена. Заменить всю систему множества сил, приложенных к разным звеньям, равнодействующей движущей силой в этом случае невозможно.

При движении по повороту в наземных локомоциях спортсмен находится в наклоне внутрь поворота. Прижимающая сила D , приложенная к опоре под острым углом (α), может быть разложена на вертикальную составляющую (D_y) и горизонтальную составляющую (D_x), направленную по радиусу от центра поворота (рисунок). Противодействие последней и есть центробежная сила ($F_{цс}$), вызывающая центробежное ускорение и искривляющая траекторию в движении по повороту. В инерциальной системе отсчета

(Земля) центробежная сила – реальная сила инерции ($F_{цб}$) – и есть уже названная составляющая прижимающей силы, приложенная к опоре. В неинерциальной системе отсчета (тело спортсмена) центробежная сила – фиктивная сила инерции ($F_{ин}$) – приложена к ОЦМ. Она образует относительно опоры момент силы ($F_{ин} h$), который уравнивает момент силы тяжести (Gd). Угол наклона тела (α) зави-

сит от соотношения силы тяжести ($G=mg$) и центробежной силы ($F_{цб} = \frac{mv^2}{r}$):

$$tg \alpha = \frac{G}{F_{цб}} = \frac{mgr}{mv^2} = \frac{gr}{v^2}$$

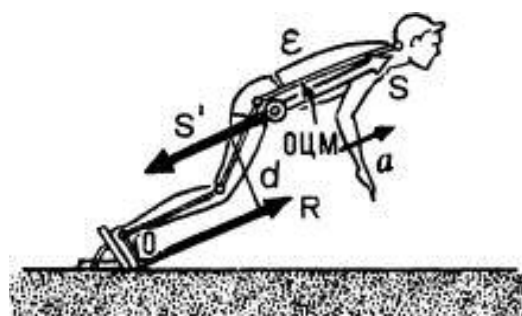
где r – радиус кривизны поворота, v – линейная скорость тела.

Рассмотрим также стартовые действия с точки зрения локомоторики. Стартовые действия обычно направлены на то, чтобы начать передвижение и быстро увеличить скорость. Стартовыми действиями начинается преодоление всех дистанций, а также передвижения в единоборствах, спортивных играх и других группах видов спорта.

Стартовые положения – это исходные позы для последующего передвижения, которые обеспечивают лучшие условия развития стартового ускорения. Стартовые действия (при старте с места) начинают из стартового положения. Оно обычно определено правилами соревнований и соответствует биомеханическим требованиям, вытекающим из задач старта.

Стартовое положение обеспечивает возникновение с первым движением ускорения ОЦМ тела в заданном направлении. Для этого проекция ОЦМ тела на горизонтальную поверхность приближена к передней границе площади опоры. При прочих равных условиях выдвигание ОЦМ тела вперед и более низкое его положение увеличивают горизонтальную составляющую начальной скорости. Так, в низком старте для бега угол начальной скорости ОЦМ тела меньше, чем в высоком.

Суставные углы в стартовом положении должны отвечать индивидуальным особенностям соотношения рычагов, силовой подготовленности спортсмена и условиям стартового действия. Расположение всех звеньев тела зависит от условия стартового действия.



Стартовые движения – это первые движения из стартового положения, которые обеспечивают прирост скорости и переход к последующему стартовому разгону. При старте ОЦМ тела спортсмена имеет ускорение, обусловленное мышечными усилиями. Как внутренние силы направлены в противоположные стороны: вперед – ускоряя подвижные звенья, назад – прижимая опорные звенья к опоре. Это можно сделать лишь допустив условно, что биомеханическая система тела человека отвердела, а реакция опоры играет роль внешней движущей силы (рисунок).

Перенесенная сила здесь условно рассматривается как стартовая сила (S), вызывающая стартовое ускорение ОЦМ. По правилу приведения силы к заданной точке надо при переносе силы в ОЦМ прибавить пару сил (R и S'), которая создает стартовый момент. Его действие направлено на уменьшение наклона тела (например, у спринтера в стартовом разгоне). Уже говорилось, что сама опорная реакция, как и реакция связи, положительной работы не совершает. Стартовая сила и момент – это только условные меры воздействия, которое вызывает сложное движение всей биомеханической системы.

Стартовый разгон обеспечивает увеличение скорости до такой, какая требуется для передвижения по дистанции. В спринтерских дистанциях за время стартового разгона скорость увеличивают до максимальной. В связи с этим разгон в спринте осуществляется дольше и на большем расстоянии, чем на более длинных дистанциях, где задача разгона – достижение только оптимальной для данной дистанции скорости, и поэтому необходимая скорость достигается на первых же шагах. В стартовом разгоне от цикла к циклу происходит изменение системы движений от стартовых до оптимальных для заданной скорости. В беге, например, это проявляется в увеличении длины шагов и уменьшении общего наклона тела. Все стартовые действия отличаются частными особенностями движений, зависящими от вида локомоций.

Виды локомоций зависят от видов спорта и биодинамики передвижений спортсмена в движениях ациклического характера (прыжки) и циклического: с фиксированной опорой (ходьба и бег), со скольжением (лыжный ход), в водной среде (плавание), а также с механическим преобразованием движений на опоре (велосипед) и на воде (академическая лодка).

Рассмотрим в отдельности некоторые из этих движений.

Биодинамика прыжка

В прыжках расстояние преодолевается полетом. При этом достигается либо наибольшая длина прыжка (прыжок в длину с разбега, тройной прыжок), либо наибольшая высота (прыжок в высоту с разбега, прыжок с шестом), либо значительная и длина и высота (опорный прыжок в гимнастике). Траектория ОЦМ тела спортсмена в полете определяется формулами:

$$l = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}, \quad h = \frac{v^2 \sin^2 2\alpha}{g},$$

где l – длина и h – высота траектории ОЦМ (без учета его высоты в моменты вылета и приземления), v – начальная скорость ОЦМ в полете, α – угол наклона вектора скорости к горизонтали в момент вылета и g – ускорение свободно падающего тела. Как видно из формул, особенно важны величина начальной скорости ОЦМ и угол его вылета.

Начальная скорость ОЦМ создается при отталкивании, а также при подготовке к нему. Таким образом, в спортивных прыжках различается подготовка к отталкиванию, отталкивание от опоры, полет и амортизация (после приземления).

В подготовку входят разбег и подготовительные движения на месте отталкивания. Биодинамику основных действий в прыжке рассмотрим на примере прыжка в длину с разбега, сравнивая ее, где необходимо, с биодинамикой прыжка в высоту.

Разбег

В разбеге решаются две задачи: создание необходимой скорости к моменту прихода на место отталкивания и создание оптимальных условий для опорного взаимодействия. В прыжках в длину добиваются наибольшей скорости разбега. Перед постановкой толчковой ноги на место отталкивания последние шаги изменяются: несколько шагов удлиняются, что снижает положение ОЦМ, а последний шаг делается быстрее и обычно короче. В прыжках в высоту не нужна большая горизонтальная скорость, разбег короче (7-9 беговых шагов вместо 19-24) при меньшей скорости. На место отталкивания нога ставится стопорящим движением. Это уменьшает горизонтальную скорость и увеличивает вертикальную, позволяет занять исходное положение при оптимально согнутой толчковой ноге, достаточно растянутых и напряженных ее мышцах, целесообразном расположении ОЦМ и необходимой скорости завершения разбега.

Отталкивание

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

С момента постановки ноги на опору начинается амортизация – подседание на толчковой ноге. Мышцы-антагонисты растягиваются и напрягаются, углы в суставах становятся близкими к рациональным для начала отталкивания. ОЦМ тела приходит в исходное положение для начала ускорения отталкивания (удлинение пути ускорения ОЦМ). Пока происходит амортизация (сгибание ноги в коленном суставе) и место опоры находится еще впереди ОЦМ, спортсмен, активно разгибая толчковую ногу в тазобедренном суставе, уже активно помогает продвижению тела вперед (активный пережат).

В течение амортизации горизонтальная скорость ОЦМ снижается, во время отталкивания создается вертикальная скорость ОЦМ. К моменту отрыва ноги от опоры обеспечивается необходимый угол вылета ОЦМ.

Выпрямление толчковой ноги и маховые движения, создавая ускорения звеньев тела вверх и вперед, вызывают их силы инерции, направленные вниз и назад. Последние вместе с силой тяжести обуславливают динамический вес – силу действия на опору и вызывают соответствующую реакцию опоры. Отталкивание вперед происходит только в последние сотые доли секунды; основные усилия прыгуна направлены на отталкивание вверх, чтобы получить необходимый для длинного прыжка большой угол вылета ОЦМ.

В прыжках в высоту по сравнению с прыжками в длину усилия направлены на обеспечение наибольшей вертикальной скорости, стопорящее движение более значительно (более острый угол постановки ноги), задачи уменьшения потерь горизонтальной скорости нет.

Полет- свободное перемещение

В полете траектория ОЦМ predetermined величиной и направлением вектора начальной скорости ОЦМ (углом вылета). Движения представляют собой движения звеньев вокруг осей, проходящих через ОЦМ. Задача сводится к возможно более дальнему приземлению, удерживая стопы как можно выше. Кроме того, существенно важно продвижение тела вперед после приземления. Спортсмены стремятся к моменту приземления поднять выше вытянутые вперед ноги и отвести руки назад: это обуславливает возможность после приземления рывком рук вперед с последующим разгибанием продвинуться вперед от места приземления.

Биодинамика с опорой на воду (плавание)

Способы плавания основаны на взаимодействии пловца с водой, при котором создаются силы, продвигающие его в воде и удерживающие на ее поверхности. Взаимодействие возникает вследствие погружения в воду и активных движений пловца. Специфические особенности биодинамики плавания связаны с тем, что силы, тормозящие продвижение, значительны, переменны и действуют непрерывно. Постоянной же опоры для отталкивания вперед у пловца нет, она создается во время гребковых движений и остается переменной по величине.

При всех гребковых движениях гребущие звенья движутся относительно остальных частей тела назад, а последние относительно гребущих звеньев – вперед. В начале гребкового движения спортсмен плывет по дистанции с некоторой начальной скоростью. Вследствие гребка туловище продвигается вперед со скоростью большей, чем начальная. Гребущие звенья движутся относительно туловища назад быстрее, чем относительно воды. Таким образом, механизм динамического взаимодействия пловца с водой основан на изменениях сопротивления воды, обусловленных в первую очередь скоростью движения частей тела относительно воды.

Если рассмотреть технику плавания брассом, то из исходного положения для гребка с согнутыми и разведенными ногами пловец делает сильный удар ногами назад, выпрямляя их в коленных суставах (фаза I). Руки в течение этой фазы вытянуты вперед. После окончания удара ногами происходит пассивное скольжение в воде при вытянутом положении тела (фаза Ia). Не допуская значительной потери скорости, пловец начинает разводить кисти рук в стороны, постепенно сгибая руки в локтевых суставах и опуская их вниз (фаза II). Фаза гребка руками завершается при наибольшей скорости продвижения кистей назад относительно тела. Друг за другом следуют гребковые движения ног (удар) и рук, вызывая дважды увеличение скорости передвижения тела вперед. В фазах I и II пловец стремится увеличить скорость, в фазе Ia, придавая обтекаемую форму телу, - меньше терять скорость.

С окончанием гребка руками начинается выведение их вперед со сгибанием в локтевых суставах (фаза III), а также сгибание ног. Это подготовка к гребковым движениям в следующем цикле. Движения начинаются медленно, чтобы не создавать значительной скорости движений навстречу потоку. Одновременно выполняются и подготовительные движения ног – сгибание и движение вперед. В следующей фазе (фаза IV) руки разгибаются в локтевых суставах и вытягиваются вперед, а ноги завершают подтягивание вперед до полного сгибания в коленных суставах. В фазе III необходимо избегать резкого снижения скорости, а в фазе IV – как можно меньше терять ее.

Таким образом, из пяти фаз цикла только две – I и II – представляют собою последовательные гребки (ногами, а потом руками), при которых наращивается скорость. В остальные три фазы скорость снижа-

ется, причем IV и V одновременно подготавливают последующие гребковые движения в очередном цикле.

В последние годы отмечается увеличение частоты гребковых движений, повышение их темпа при сохранении высокой скорости продвижения и небольших перепадах ее в цикле. Значительные «пики» на кривой скорости привели бы к резкому повышению сопротивления воды.

Как и во всех локомоторных упражнениях, в плавании ищут оптимальное соотношение между длительностью цикла (темп движений) и расстоянием, преодолеваемым за один цикл («шаг цикла»). Более длинный «шаг» требует большего времени, снижает темп; более высокий темп укорачивает «шаг». И то и другое может снизить скорость. При оптимальном соотношении темпа и «шага» достигается наивысшая возможная скорость.

Биодинамика передвижения со скольжением (лыжи)

Лыжник увеличивает скорость передвижения благодаря отталкиванию лыжами и палками от снега в сочетании с маховыми движениями рук и ног (к отталкиваниям ногой и рукой присоединены махи рукой и ногой) и броском тела вперед (поворот таза вперед и рывок туловища вверх). В попеременном двухшажном ходе чуть позднее отталкивания палкой завершается отталкивание лыжей, начинается скольжение на другой лыже. Свободное скольжение (фаза I) происходит при тормозящем воздействии трения лыжи по снегу и незначительном сопротивлении воздуха. Чтобы меньше терять скорость, нельзя делать движения с ускорениями звеньев, направленными вверх; это вызовет силы инерции, направленные вниз, которые прижмут лыжу к снегу и увеличат трение. Замедление же движений вверх рук и переносной ноги (после предыдущего отталкивания лыжей «на взлет»), наоборот, снизит давление на лыжу и уменьшит трение. Свободное скольжение заканчивается постановкой палки на снег: после замедленного завершения махового выноса руки вперед лыжник, слегка согнув ее и зафиксировав суставы руки и туловища, энергии ударом ставит палку на снег.

Начинается фаза скольжения с выпрямления опорной ноги (фаза II). Усиливая наклоном туловища над на палку, лыжник стремится повысить скорость скользящей лыжи. Стопа опорной ноги, немного выдвинутая вперед, предупреждает потерю энергии на амортизацию и преждевременный перекал. Опорная нога выпрямляется, подготавливаясь к последующему подседанию на ней.

Подседание начинается еще при скольжении лыжи (фаза III), которая при энергичном разгибании опорной ноги в тазобедренном суставе быстро теряет скорость и останавливается. В фазе I необходимо как можно меньше терять скорость, в фазе II – увеличить скорость скользящей лыжи, в фазе III – быстрее остановить лыжу.

Лыжа, стоящая неподвижно на снегу, благодаря силе трения (статической) служит опорой для отталкивания ногой и маховых движений (рукой, ногой и туловищем). Подседание, начато в фазе III, продолжается и завершается в фазе IV, сопровождаемое выпадом – движением переносной ноги вперед от носка стопы опорной ноги. С остановкой лыжи тело лыжника продолжает ускоренное продвижение вперед (перекал) благодаря: а) началу разгибания бедра опорной ноги в тазобедренном суставе («активный перекал»), б) выпадку переносной ногой, в) маху свободной рукой, г) началу поворота таза вперед и д) усиленному до максимума нажиму на палку в наиболее наклоненном ее положении.

С окончанием подседания начинается выпрямление толчковой ноги в коленном суставе (фаза V), сопровождаемое завершающимся выпадом. Отталкивание ногой и рывок туловищем вверх обеспечивают общее направление отталкивания «на взлет», что снижает трение в фазе I следующего скользящего шага. Снижение скорости выпад из-за торможения растягиваемых мышц-антагонистов тазобедренного сустава компенсируется, насколько возможно, ускоренным поворотом таза вперед и энергичным завершением отталкивания палкой (до выпрямления руки и палки в одну линию). В фазе IV необходимо повысить скорость выпад, в фазе V – меньше терять скорость стопы в выпад.

Характерными особенностями современной техники считаются стремление уменьшить трение лыжи о снег завершенным отталкиванием лыжей («на взлет») и опорой на палку, а также высокий темп шагов. У хорошо подготовленных лыжников темп шагов достигает 110—120 в минуту.

С повышением скорости хода изменяется ритм скользящего шага: относительно сокращается время отталкивания лыжей; подседание и выпрямление толчковой ноги делаются быстрее.

Биодинамика передвижения с механическим преобразованием энергии

Велосипедный спорт и тренажеры. Велосипед как аппарат для передачи усилий на опору создает особые условия для приложения усилий велосипедиста и использования внешних сил.

Давление ноги велосипедиста на педаль в системе велосипедист - велосипед - это внутренняя сила, вся система самодвижущаяся с внутренним источником движущихся сил. Давление на педаль создает момент силы относительно оси ведущей шестерни. Через цепь эта сила передается на ведомую шестерню заднего колеса.

Под действием этой силы колесо, когда у него нет опоры, вращается вокруг своей оси: верхняя точка обода вперед, нижняя – назад. При опоре благодаря сцеплению покрышки колеса с грунтом сила трения, направленная вперед, уравнивает действие обода на покрышку, направленное назад; в результате колесо не проскальзывает и вперед движется ось колеса. Точка, относительно которой она движется, – место опоры колеса.

Источник движущей силы – мышцы ног спортсмена, передающие усилия через педаль, шатун, ведущую шестерню, цепь на заднюю шестерню. Нижняя точка обода заднего колеса не может сдвинуться назад и фиксирована на опоре с помощью силы трения (необходимая внешняя сила). Поэтому ось от связанной с нею задней шестерни получает ускорение вперед. Сила трения скольжения (статическая) не дает проскальзывать покрышке заднего колеса назад по грунту. Она служит той внешней силой, без которой ускорение системы на горизонтальной поверхности невозможно.

Биомеханика при академической гребле

Самым характерным в академической гребле является значительное перемещение гребца относительно лодки посредством подвижного сиденья (банки), перемещающегося на роликах вдоль продольной оси лодки на полозках.

Выносные уключины увеличивают плечо рычага (расстояние от оси вращения весла до места хвата рукой). Гребец прилагает усилия руками к рукоятке весла и ногами к подножке, укрепленной неподвижно.

При проводке весла лопасть встречает сопротивление воды. Сначала подтягивая лодку веслом, а потом отталкивая ее от воды, захваченной лопастью, гребец продвигает лодку вперед. За время проводки гребец перемещается на банке вперед, к носу лодки. Начало гребка выполняется одновременно с быстрым и ровным давлением ног на подножку в виде «прыжка» в сторону носа лодки. Этот «прыжок» как бы тормозится на рукоятке весла, что увеличивает силу, приложенную через весло к воде.

После окончания гребка следует фаза заноса весел. Это движение является подготовительным для следующего гребка и совершается посредством перемещения на банке к корме; весла в это время заносятся лопастями к носу. Однако в этой фазе усилия гребка, приложенные к лодке, направлены в сторону движения лодки. Подтягивая себя к подножке за носковые ремни, гребец этим выталкивает из-под себя лодку вперед. ОЦМ системы гребец—весла—лодка от перемещения назад свою скорость изменить не может (если не учитывать увеличения сопротивления воды в зависимости от скорости лодки). Но лодка относительно гребца и воды получает ускорение вперед. Наличие его уменьшает падение скорости лодки, скользящей по инерции. Это делает скорость хода лодки более равномерной, что выгодно для продвижения против сопротивления воды. Таким образом, активные усилия гребка приложены через весла к воде в одном направлении, а через подножку к лодке – поочередно в двух («прыжок» от подножки и перемещение).

Движения по перемещению тел

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

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

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

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

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

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

Траектория полетов тел

Траектория (в частности, дальность) полета снаряда определяется:

- а) начальной скоростью вылета,
- б) углом вылета,
- в) местом (высотой) выпуска снаряда,
- г) вращением снаряда
- д) сопротивлением воздуха, которое, в свою очередь, зависит от аэродинамических свойств снаряда, силы и направления ветра, плотности воздуха (в горах, где атмосферное давление ниже, плотность воздуха меньше и спортивный снаряд при тех же начальных условиях вылета может пролететь большее расстояние).

Начальная скорость вылета является той основной характеристикой, которая закономерно изменяется с ростом спортивного мастерства. В отсутствие сопротивления воздуха дальность полета снаряда пропорциональна квадрату скорости вылета. Увеличение скорости вылета, скажем, в 1,5 раза должно увеличить дальность полета снаряда в 1,5², т.е. в 2,25 раза. Например, скорость вылета ядра 10 м/с соответствует результату в толкании ядра в среднем 12 м, а скорость 15 м/с – результату около 25 м.

У спортсменов международного класса максимальные скорости вылета снарядов равны: при ударе ракеткой (подача в теннисе) и клюшкой (хоккей) – свыше 50 м/с, при ударе рукой (нападающий удар в волейболе) и ногой (футбол), метании копья – около 35 м/с. Из-за сопротивления воздуха скорость в конце полета снаряда меньше начальной скорости вылета.

Углы вылета. Различают следующие основные углы вылета:

1. Угол места – угол между горизонталью и вектором скорости вылета (он определяет движение снаряда в вертикальной плоскости: выше – ниже).
2. Азимут – угол вылета в горизонтальной плоскости (правее – левее, измеряется от условно выбранного направления отсчета).
3. Угол атаки – угол между вектором скорости вылета и продольной осью снаряда. Метатели копья стремятся, чтобы угол атаки был близок к нулю («попасть точно в копьё»). Метателям диска рекомендуется выпускать диск с отрицательным углом атаки. При полете мячей, ядра и молота угла атаки нет.

Высота выпуска снаряда влияет на дальность полета. Дальность полета снаряда увеличивается примерно на столько, на сколько увеличивается высота выпуска снаряда.

Вращение снаряда и сопротивление воздуха. Вращение снаряда оказывает двойное влияние на его полет. Во-первых, вращение как бы стабилизирует снаряд в воздухе, не давая ему «кувыркаться». Здесь действует гироскопический эффект, подобный тому, который позволяет не падать вращающемуся волчку. Во-вторых, быстрое вращение снаряда искривляет его траекторию (так называемый эффект Магнуса). Если мяч вращается (такое вращение нередко называют спином, от англ. spin – вращение), то скорость воздушного потока на разных его сторонах будет разной. Вращаясь, мяч увлекает прилегающие слои воздуха, которые начинают двигаться вокруг него (циркулировать).

В природе существует явление, названное в честь немецкого физика Генриха Густава Магнуса, который открыл и описал это явление в 1853 году. Суть его в том, что при движении вращающегося тела в потоке жидкости или газа скорость движения среды с одной стороны тела увеличивается, с другой стороны – уменьшается (рис. 6.3).

Разность скоростей приводит к разности давлений ($P_1 - P_2$) и, в конечном итоге, к поперечной силе F , действующей на вращающееся тело.

Рассмотрим движение мяча массой m , движущегося от удара футболиста с углового с начальной скоростью V_0 в сторону ворот без учета сопротивления воздуха, но с учетом силы Магнуса F_m . Если мячу

придано вращение вокруг вертикальной оси с угловой скоростью ω , сила F_M будет направлена в сторону плоскости ворот yz . Дифференциальные уравнения движения мяча имеют вид (g – ускорение свободного падения, $F_{тяж} = mg$ – сила тяжести или вес мяча):

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = -F_M; \quad m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} = 0; \quad m \cdot \frac{d^2 z}{dt^2} = -m \cdot g.$$

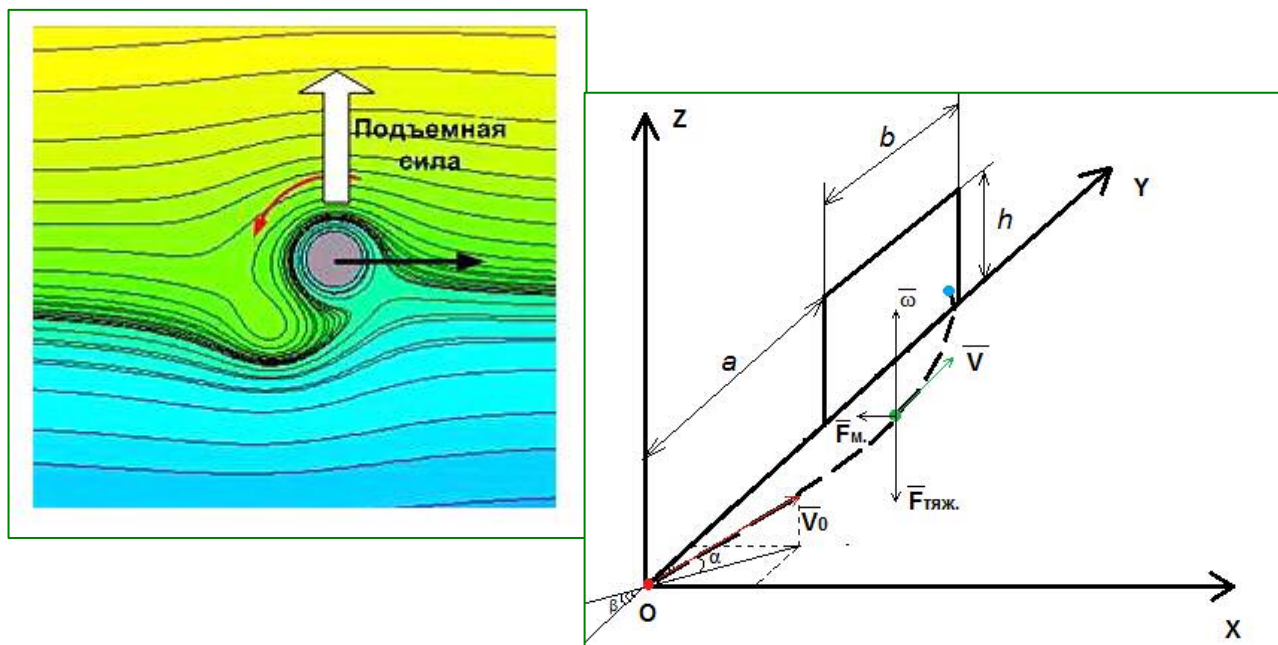


Рис. 6.3. «Сухой лист» – удар с углового в створ ворот

В тех местах, где скорости поступательного и вращательного движений складываются, скорость воздушного потока становится больше; с противоположной стороны мяча эти скорости вычитаются и результирующая скорость меньше. Из-за этого и давление с разных сторон будет разным: больше с той стороны, где скорость воздушного потока меньше. Это следует из известного закона Бернулли: давление газа или жидкости обратно пропорционально скорости их движения (этот закон можно применить к случаю, показанному на рисунке). Эффект Магнуса позволяет, например, выполняя угловой удар в футболе, послать мяч в ворота. Величина боковой силы, действующей на вращающийся мяч, зависит от скорости его полета и скорости вращения. Влияние вращения мяча на его траекторию тем выше, чем больше поступательная скорость. Пытаться придать медленно летящему мячу большое вращение, чтобы влиять на направление полета, нецелесообразно. Теннисные мячи при соответствующих ударах вращаются со скоростью выше 100 об/с, футбольные и волейбольные – значительно медленнее. Если направление вращения мяча совпадает с направлением полета, такой мяч в спортивной практике называют крученым, если не совпадает, – резаным (крученный мяч катился бы по земле в направлении своего полета, а резаный – назад к игроку, пославшему мяч).

Если воздушный поток обтекает снаряд под некоторым углом атаки, то сила сопротивления воздуха направлена под углом к потоку. Эту силу можно разложить на составляющие: одна из них направлена по потоку – это лобовое сопротивление, другая перпендикулярна к потоку – это подъемная сила. Существенно помнить, что подъемная сила не обязательно направлена вверх; ее направление может быть различным. Это зависит от положения снаряда и направления воздушного потока относительно его. В тех случаях, когда подъемная сила направлена вверх и уравнивает вес снаряда, он может начать планировать. Планирование копья и диска существенно повышает результаты в метании.

Если центр давления воздушного потока на снаряд не совпадает с центром тяжести, возникает вращательный момент силы, и снаряд теряет устойчивость. Аналогичная картина и проблема сохране-

ния устойчивости возникают и в полетной фазе в прыжках на лыжах. Отсутствие вращения достигается выбором правильной позы, при которой центр тяжести тела и центр его поверхности (центр давления воздушного потока) расположены так, что вращательный момент не создается.

Сила действия в перемещающих движениях

Сила действия в перемещающих движениях обычно проявляется конечными звеньями многозвенной кинематической цепи. При этом отдельные звенья могут взаимодействовать двумя способами:

1. Параллельно – когда возможна взаимокompенсация действия звеньев; если сила, проявляемая одним из звеньев, недостаточна, другое звено компенсирует это большей силой. Пример: при бросках в борьбе недостаточная для выполнения приема мышечная сила одной руки может компенсироваться большей силой действия второй руки. Параллельное взаимодействие возможно лишь в разветвляющихся кинематических цепях (действия двух рук или двух ног).

2. Последовательно – когда взаимокompенсация невозможна. При последовательном взаимодействии звеньев многозвенной кинематической цепи нередко бывает что какое-то одно звено оказывается более слабым, чем остальные и ограничивает проявление максимальной силы. Очень важно уметь распознавать такое отстающее звено с целью либо его целенаправленно укрепить, либо изменить технику движения таким образом, чтобы данное звено не ограничивало роста результатов. Например, толкатели ядра, у которых мышцы голеностопного сустава и стопы относительно слабые, делают скачок перед финальным усилием с опорой на всю стопу; спортсмены с сильной стопой могут выполнять скачок с приходом на носок. Включение в работу слабых звеньев (если они могут быть выключены) является технической ошибкой, приводящей к снижению спортивного результата.

Скорость в перемещающих движениях

Необходимо определенное сочетание во времени движений отдельных звеньев тела (рис. 100). Каждое из этих звеньев участвует во вращательном движении относительно оси сустава и в поступательном движении этого сустава, которое можно рассматривать как переносное. Например, при ударе ногой по мячу голень перемещается за счет разгибания в коленном суставе (движение по отношению к бедру и коленному суставу) и за счет движения бедра и самого коленного сустава (переносное движение).

Вращательное движение звеньев двигательного аппарата человека обусловлено:

- 1) действием момента силы тяги мышц, проходящих через сустав, например сгибателей и разгибателей его;
- 2) ускоренным движением самого сустава. Оно вызвано силой, линия действия которой проходит через суставную ось (так называемой суставной силой).

Если бы сустав был неподвижен, то, конечно, под действием этой силы движения относительно оси не возникло бы. Ведь нельзя же раскачать качели, надавливая на их ось. Но если ось под действием силы смещается, то подвешенное к ней звено поворачивается вокруг оси.

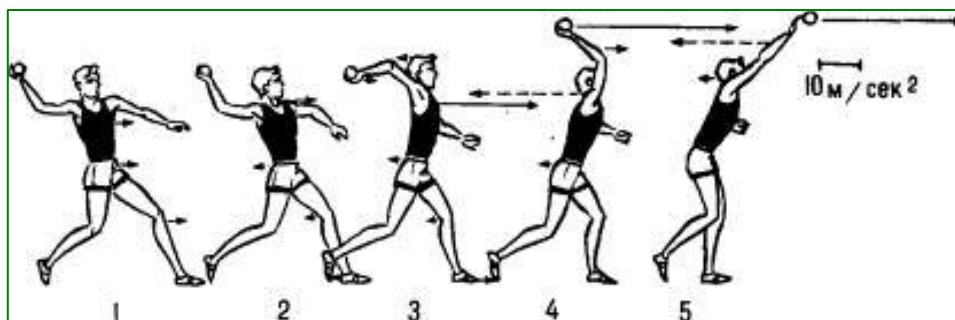


Рис. 6.4. Горизонтальные ускорения основных суставов при метании мяча 150 г

У человека голень при ходьбе движется как за счет движения колена, так и за счет силы тяги мышц коленного сустава. Подобное выполнение вращательного движения в спортивной практике нередко называют «хлестом». Он широко используется в быстрых перемещающих движениях. Выполнение движений «хлестом» основано на том, что проксимальный сустав сначала быстро движется в направлении метания или удара, а затем резко тормозится. Это вызывает быстрое вращательное движение дистального звена тела. На рис. 6.4 показано, как последовательно двигается волна таких отрицательных ускорений от нижних конечностей к верхним при метании

На кадрах 3 и 4, видно, как быстро изменилось ускорение плечевого сустава с положительного на отрицательное. При выполнении движений «хлестом» максимумы переносной и относительной скорости не совпадают во времени, т. е. движения выполняют не так. В самом деле, торможение проксимальных звеньев (например, туловища и плеча на рис. 6.4), конечно, снижает их скорость. Однако это повышает скорость (относительную) дистальных звеньев, так что, несмотря на снижение переносной скорости, абсолютная скорость конечного звена, равная сумме переносной и относительной скорости, может оказаться выше. В случае перемещения тел с разгоном (метания, броски и т. п.) увеличение скорости снаряда обычно проходит в три этапа:

1. Скорость сообщается всей системе «спортсмен—снаряд», от чего она приобретает определенное количество движения (разбег в метании копья, повороты при метании диска и молота и т. п.).
2. Скорость сообщается только верхней части системы «спортсмен—снаряд»: туловищу и снаряду (первая половина финального усилия; в это время обе ноги касаются опоры).
3. Скорость сообщается только снаряду и метаемой руке (вторая половина финального усилия).

Скорость вылета снаряда представляет собой сумму скоростей, приобретенных им на каждом из этих этапов. Однако векторы скоростей стартового и финального разгонов обычно не совпадают по направлению, поэтому их суммирование может быть только геометрическим (по правилу параллелограмма). Значительная часть стартовой скорости теряется. Например, сильнейшие толкатели ядра могут толкнуть ядро с места на 19 м, что соответствует скорости вылета снаряда около 13 м/с. В скачке они сообщают ядру скорость до 2,5 м/с. Если бы эти скорости удалось сложить арифметически, то скорость вылета ядра была бы равна $13 + 2,5 = 15,5$ м/с, что дало бы результат около 26 м — примерно на 4 м выше мирового рекорда.

Для увеличения скорости вылета снаряда стремятся увеличить путь воздействия на него в финальном усилии. Например, у сильнейших в мире толкателей ядра — финалистов олимпийских игр — расстояние между ядром и землей на старте уменьшилось со 105 см в 1960 г. до 80 см в 1976 г. Для увеличения пути воздействия на снаряд используют так называемый обгон звеньев.

Точность в перемещающих движениях

Под точностью движения понимают степень его близости требованиям двигательного задания. Вообще говоря, любое движение может быть выполнено лишь в том случае, если оно достаточно точно. Если, например, во время ходьбы человек будет выполнять движения очень неточно, то идти он не сможет. Однако здесь будет идти речь о точности в более узком смысле слова - о точности рабочего звена тела (например, кисти) или управляемого этим звеном снаряда (фехтовального оружия, мяча, ручки для письма).

Различают два вида точностных заданий. В первом необходимо обеспечить точность движения на всей его траектории (пример - обязательная программа в фигурном катании на коньках, где требуется, чтобы след конька был идеальной геометрической фигурой). Такие двигательные задания называют задачами слежения.

Во втором виде заданий неважно, какова траектория рабочей точки тела или снаряда, необходимо лишь попасть в обусловленную цель (в мишень, ворота, поражаемую часть тела противника и т. п.). Такие двигательные задачи называют задачами попадания, а точность - целевой точностью.

Целевая точность характеризуется величиной отклонения от цели. В зависимости от конкретного вида двигательного задания используют различные способы оценки точности. Если стоит, например, задача бросить мяч на определенное расстояние и ошибка может выражаться только в перелете или недолете (отклонения вправо или влево значения не имеют), то при большом числе бросков мяч будет приземляться, конечно, не в одно и то же место. При этом средняя точка попадания может отклоняться от центра мишени. Это отклонение называется систематической ошибкой попадания. Кроме

того, места приземления мяча будут как-то рассеяны относительно средней точки попадания. Из баллистики известно, что это рассеивание подчиняется закону нормального распределения. Нормальное распределение характеризуется средней величиной и стандартным (средним квадратическим) отклонением. Стандартное отклонение указывает величину случайной ошибки попадания.

Величина, обратная стандартному отклонению, называется кучностью попадания. Систематическая ошибка и кучность вместе характеризуют целевую точность. Если систематическая ошибка равна нулю, т. е. если спортсмен попадает в центр мишени, целевая точность характеризуется только кучностью. Когда имеют значения отклонения от центра мишени не только, вперед-назад (вверх-вниз), но и вправо-влево, например в пулевой стрельбе или при ударах по воротам, различают вертикальную и горизонтальную точность. Для оценки каждой из них надо знать систематическую и случайную ошибки, т. е. Всего четыре показателя.

Часто более удобно оценивать точность по числу удачных попыток — попаданий в цель. Если систематическая ошибка известна (в частности, если она равна нулю), то, пользуясь статистическими таблицами -нормального распределения, по проценту попаданий легко вычислить величину стандартной ошибки.

Отклонения от центра мишени вправо и влево зависят от азимута, а отклонения вперед-назад (вверх-вниз) — от угла места и скорости вылета снаряда. При этом снаряд попадает в цель лишь при строго определенном сочетании угла и скорости вылета. Изменение одной из этих характеристик при постоянном значении второй приводит к промаху. Исследования показывают, что главная трудность в достижении высокой целевой точности как раз и состоит в том, чтобы обеспечить правильное сочетание угла и скорости вылета. Например, отклонения (дисперсия) начальных характеристик вылета мяча — угла и скорости — у баскетболистов-"снайперов" такие же, как у тех, кто не отличается высокой точностью бросков. Но у первых избранный угол вылета соответствует скорости, а у вторых такого соответствия нет.



Рис. 6.5 Показатели, используемые при оценке целевой точности.

Показан также процент попаданий при отклонении снаряда на разные расстояния от центра попадания (кривая нормального распределения). В достижении высокой целевой точности существенную роль играет техника выполнения упражнения, в частности такая организация движений, при которой облегчается исправление ошибок, допущенных по ходу попытки. Поскольку подобная коррекция происходит до того, как становится ясен итоговый результат действия, ее называют предварительной или прелиминарной (от лат. *pre* – перед и *limin* – порог) коррекцией. Например, при выполнении баскетбольных бросков с разных дистанций большая часть скорости вылета мяча создается движением ног, руки же обеспечивают тонкие корректирующие добавки.

Особенно трудно добиться необходимой точности при ударных действиях. Например, в футболе при ударе с 20 м достаточно ошибиться в точке приложения удара всего на 1 см, чтобы мяч отклонился от цели почти на 2 м. Поэтому более точны те удары, которые выполняются при относительно большой площади соприкосновения с мячом. Так, при ударах внутренней стороной стопы («щечкой») легче добиться необходимой точности, чем при ударах носком. Наиболее трудно добиться высокой точности при ударах по движущемуся мячу («в одно касание»). Биомеханическая основа этих, затруднений состоит в следующем.

Мяч, ударяясь о плоскость под определенным углом, отскакивает от нее примерно под тем же углом. Следовательно, если подставить, например, ракетку под мяч вертикально на разных участках его траектории, то он отразится по-разному. Чтобы отразить мяч в нужном направлении (не ударя по нему), нужно подставить плоскость ракетки (или ноги) перпендикулярно к линии, делящей угол между направлениями полета мяча до и после отскока примерно пополам.

При ударных действиях к первоначальной скорости мяча добавляется скорость, привносимая ударом. Они складываются геометрически (по правилу параллелограмма). В результате оказывается, что мяч после удара движется не в направлении действия силы удара. Мяч попадает в цель лишь в том случае, если направление и сила удара будут строго соответствовать направлению и скорости летящего мяча. Добиться такого соответствия трудно.

Целевая точность снижается при значительном увеличении скорости движений. Небольшие колебания скорости от попытки к попытке на точность попадания в цель не влияют. Целевая точность зависит также от расстояния и направления до цели.

Ударные действия. Основы теории удара

Ударом в механике называется кратковременное взаимодействие тел, в результате которого резко изменяются их скорости. При таких взаимодействиях возникают столь большие силы, что действием всех можно пренебречь.

Примерами ударов являются:

- удары по мячу, шайбе. В данном случае происходит быстрое, изменение скорости по величине и направлению. Подобные удары с последующим отскоком часто встречаются в перемещающих спортивных движениях;
- приземление после прыжков и соскоков (скорость тела спортсмена резко снижается до нуля).

Особенно целесообразно рассматривать приземление как удар, если оно происходит на выпрямленные ноги или связано с падением;

- вылет стрелы из лука, акробата в цирке с подкидной доски и т.п. Здесь скорость до начала взаимодействия равна нулю, а затем резко возрастает.

Изменение ударных сил во времени происходит примерно так. Сначала сила быстро возрастает до наибольшего значения, а затем падает до нуля. Максимальное ее значение может быть очень большим. Однако основной мерой ударного взаимодействия является не сила, а ударный импульс, численно равный заштрихованной площади под кривой $F(t)$. Он может быть вычислен как интеграл:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt$$

где S – ударный импульс, t_1 и t_2 – время начала и конца удара, $F(t)$ – зависимость ударной силы F от времени t .

За время удара скорость тела, например мяча, изменяется на определенную величину. Это изменение прямо пропорционально ударному импульсу и обратно пропорционально массе тела. Другими словами, ударный импульс равен изменению количества движения тела.

Последовательность механических явлений при ударе такова: сначала происходит деформация тел, при этом кинетическая энергия движения переходит в потенциальную энергию упругой деформации, затем потенциальная энергия переходит в кинетическую. В зависимости от того, какая часть потенциальной энергии переходит в кинетическую, а какая рассеивается в виде тепла, различают три вида удара:

1. Вполне упругий удар – вся механическая энергия сохраняется. Таких ударов в природе нет (всегда часть механической энергии при ударе переходит в тепло). Однако в некоторых случаях удары, например удар бильярдных шаров, близки к вполне упругому удару.
2. Неупругий удар – энергия деформации полностью переходит в тепло. Пример: приземление в прыжках и соскоках, удар шарика из пластилина в стену и т. п. При неупругом ударе скорости взаимодействующих тел после удара равны (тела объединяются).

3. Не вполне упругий удар — лишь часть энергии упругой деформации переходит в кинетическую энергию движения.

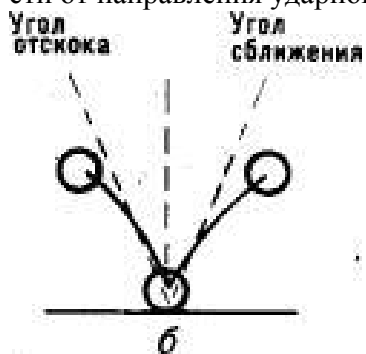
Ньютон предложил характеризовать не вполне упругий удар как называемым коэффициентом восстановления. Он равен отношению скоростей взаимодействующих тел после и до удара. Коэффициент восстановления можно измерить так: сбросить мяч на жесткую горизонтальную поверхность, измерить высоту падения мяча (h_1) и высоту, на которую он отскакивает (h_2). Коэффициент восстановления равен:

$$K = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} = \frac{v_{\text{после удара}}}{v_{\text{до удара}}}$$

Коэффициент восстановления зависит от упругих свойств соударяемых тел. Например, он будет различен при ударе теннисного мяча о разные грунты и ракетки разных типов и качества. Зависит коэффициент восстановления и от скорости ударного взаимодействия:

с увеличением скорости он уменьшается. Например, по международным стандартам теннисный мяч, сброшенный на твердую поверхность с высоты 2 м 54 см (100 дюймов), должен отскакивать на высоту 1,35-1,47 м (коэффициент восстановления 0,73-0,76). Но если его сбросить, скажем, с высоты в 20 раз большей, то даже без сопротивления воздуха отскок возрастет меньше чем в 20 раз.

В зависимости от направления движения мяча до удара различают прямой и косой удары; в зависимости от направления ударного импульса - центральный и касательный удары.



При прямом ударе направление полета мяча до удара перпендикулярно к плоскости ударяющего тела или преграды. Пример: падение мяча сверху на горизонтальную поверхность. В этом случае мяч после отскока летит в обратном направлении.

При косом ударе угол сближения (рис.) отличен от нуля. При идеальном упругом ударе углы сближения и отскока равны. При реальных (не вполне упругих) ударах угол отскока больше угла сближения, а скорость после отскока от неподвижной преграды меньше, чем до удара.

Центральный удар характеризуется тем, что ударный импульс проходит через ЦМ мяча. В этом случае мяч летит не вращаясь. При касательном ударе ударный импульс не проходит через ЦМ мяча – мяч после такого удара летит с вращением. Как уже отмечалось, вращение мяча изменяет траекторию его полета. Изменяет оно также отскок мяча. Например, в настольном теннисе поступательная скорость крученого мяча (шарика) после отскока нередко выше, чем до соприкосновения со столом: часть кинетической энергии вращения переходит в энергию поступательного движения.

При центральном ударе двух упругих тел (например, двух бильярдных шаров) количество движения в системе этих тел остается постоянным: $m_1v_1+m_2v_2=m_1u_1+m_2u_2 = \text{const.}$ где m_1 и m_2 – массы первого и второго тела, v_1 и v_2 – их скорости до удара; и u_1 и u_2 — их скорости после удара.

Если скорость одного из тел до удара равна нулю, то после удара она станет:

$$u_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_1$$

Из формулы видно, что скорость после удара будет тем больше, чем больше скорость и масса ударяющего тела (ударная масса). В более сложных случаях (нецентральный и не вполне упругий удар) картина сложнее, однако и в них скорость после удара будет тем выше, чем больше ударная масса и скорость тела, наносящего удар.

Биомеханика ударных действий

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

1. Замах – движение, предшествующее ударному движению и приводящее к увеличению расстояния между ударным звеном тела и предметом, по которому наносится удар. Эта фаза наиболее вариативна.
2. Ударное движение – от конца замаха до начала удара.
3. Ударное взаимодействие (или собственно удар) – столкновение ударяющихся тел.
4. Послеударное движение – движение ударного звена тела после прекращения контакта с предметом, по которому наносится удар.

Уже говорилось, что при механическом ударе скорость тела (например, мяча) после удара тем выше, чем больше скорость ударяющего звена непосредственно перед ударом. При ударах в спорте такая зависимость необязательна. Например, при подаче в теннисе увеличение скорости движения ракетки может привести к снижению скорости вылета мяча, так как ударная масса при ударах, выполняемых спортсменом, непостоянна: она зависит от координации его движений. Если, например, выполнять удар за счет сгибания кисти или с расслабленной кистью, то с мячом будет взаимодействовать только масса ракетки и кисти. Если же в момент удара ударяющее звено закреплено активностью мышц-антагонистов и представляет собой как бы единое твердое тело, то в ударном взаимодействии будет принимать участие масса всего этого звена.

Иногда спортсмен наносит два удара с одной и той же скоростью, а скорость вылета мяча или сила удара оказывается различной. Это происходит из-за того, что ударная масса неодинакова. Величина ударной массы может использоваться как критерий эффективности техники ударов.

Некоторые спортсмены, владеющие очень сильным ударом (в боксе, волейболе, футболе и др.), большой мышечной силой не отличаются. Но они умеют сообщать большую скорость ударяющему сегменту и в момент удара взаимодействовать с ударяемым телом большой ударной массой.

Многие ударные спортивные действия нельзя рассматривать как «чистый» удар, основа теории которого изложена в предшествующем параграфе. В теории удара в механике предполагается, что удар происходит настолько быстро и ударные силы настолько велики, что всеми остальными силами можно пренебречь. Во многих ударных действиях в спорте эти допущения не оправданы. Время удара в них хотя и мало, но все-таки пренебрегать им нельзя; путь ударного взаимодействия, по которому во время удара движутся вместе соударяющиеся тела, может достигать 20-30 см.

Поэтому в спортивных ударных действиях, в принципе, можно изменить количество движения во время соударения за счет действия сил, не связанных с самим ударом.

Это легко объяснить на таком примере. Представим, что автомобиль, едущий со скоростью 30 км/час, ударяется о подвижное препятствие. При этом возможны три ситуации:

1. Автомобиль едет с неработающим двигателем и невключенными тормозами. В системе «автомобиль – препятствие» действуют только ударные силы.
2. Двигатель включен, более того – автомобиль движется ускоренно. Тогда в конце удара его скорость будет больше, чем в начале, количество движения (импульс) системы возрастет, а на ударяемое тело подействует еще дополнительная сила, вызванная действием двигателя автомобиля.
3. Двигатель выключен, а тормозная система включена. Скорость и количество движения автомобиля уменьшатся из-за включенных тормозов.

Описанное можно сравнить с действием мышц человека при ударах. Если ударное звено во время удара дополнительно ускоряется за счет активности мышц, ударный импульс и соответственно скорость вылета снаряда увеличиваются; если оно произвольно тормозится, ударный импульс и скорость вылета уменьшаются (это бывает нужно при точных укороченных ударах, например при передачах мяча партнеру). Некоторые ударные движения, в которых дополнительный прирост количества движения во время соударения очень велик, вообще являются чем-то средним между метаниями и ударами (так иногда выполняют вторую передачу в волейболе).

Координация движений при максимально сильных ударах подчиняется двум требованиям:

- 1) сообщение наибольшей скорости ударяющему звену к моменту соприкосновения с ударяемым телом. В этой фазе движения используются те же способы увеличения скорости, что и в других перемещающих действиях;
- 2) увеличение ударной массы в момент удара. Это достигается «закреплением» отдельных звеньев ударяющего сегмента путем одновременного включения мышц-антагонистов и увеличения радиуса вращения. Например, в боксе и карате сила удара правой рукой увеличивается примерно вдвое, если

ось вращения проходит вблизи левого плечевого сустава, по сравнению с ударами, при которых ось вращения совпадает с центральной продольной осью тела.

Время удара настолько кратковременно, что исправить допущенные ошибки уже невозможно. Поэтому точность удара в решающей мере обеспечивается правильными действиями при замахе и ударном движении. Например, в футболе место постановки опорной ноги определяет у начинающих целевую точность примерно на 60-80%.

Тактика спортивных игр нередко требует неожиданных для противника ударов («скрытых»). Это достигается выполнением ударов без подготовки (иногда даже без замаха), после обманных движений (финтов) и т. п. Биомеханические характеристики ударов при этом меняются, так как они выполняются в таких случаях обычно за счет действия лишь дистальных сегментов (кистевые удары).

Тема 7. Индивидуальная и групповая моторика

Исследования локальных - индивидуальных проявлений работы мышечного аппарата человека, совместно с техническими механическими системами, составляет основы разработки экзоскелетов. Это устройства способствующие уменьшению нагрузок на скелет, группы мышц и в целом понижающий трудоемкость физических процедур, например, при транспортировке груза, позволяет проектировать важные робототехнические системы. Индивидуальные и групповые особенности движений и двигательных возможностей людей изучают в разделе биомеханики, называемом дифференциальной биомеханикой. Подобные разделы существуют и в смежных научных дисциплинах. Так, дифференциальная психология изучает индивидуальные и групповые психологические различия и т. п.

Телосложение и моторика человека

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

- а) тотальные размеры тела – основные размеры, характеризующие его величину (длина тела, вес, окружность грудной клетки, поверхность тела и т. п.);
- б) пропорции тела – соотношение размеров отдельных частей тела (конечностей, туловища и др.);
- в) конституциональные особенности.

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

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

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

$$F_{\text{относительная сила}} = \frac{f_{\text{абсолютная сила}}}{f_{\text{собственный вес}}}$$

У людей примерно одинаковой тренированности, но разного веса абсолютная сила с увеличением веса возрастает, а относительная падает (рис.7.1). Аналогичные закономерности наблюдаются и в отношении некоторых других функциональных показателей (например, максимального потребления кислорода – МПК). В то же время, скажем, высота подъема ОЦГ в прыжках или дистанционная скорость бега не зависят от тотальных размеров тела, а максимальная частота движений и стартовое ускорение уменьшаются с их увеличением.

Биомеханическая основа этих явлений заключается в следующем.

Предположим, что два спортсмена (А и Б) одинаково тренированы и во всех отношениях равны друг другу, но один из них в 1,5 раза крупнее другого: у одного из них рост 140 см, а у другого – 210 см.

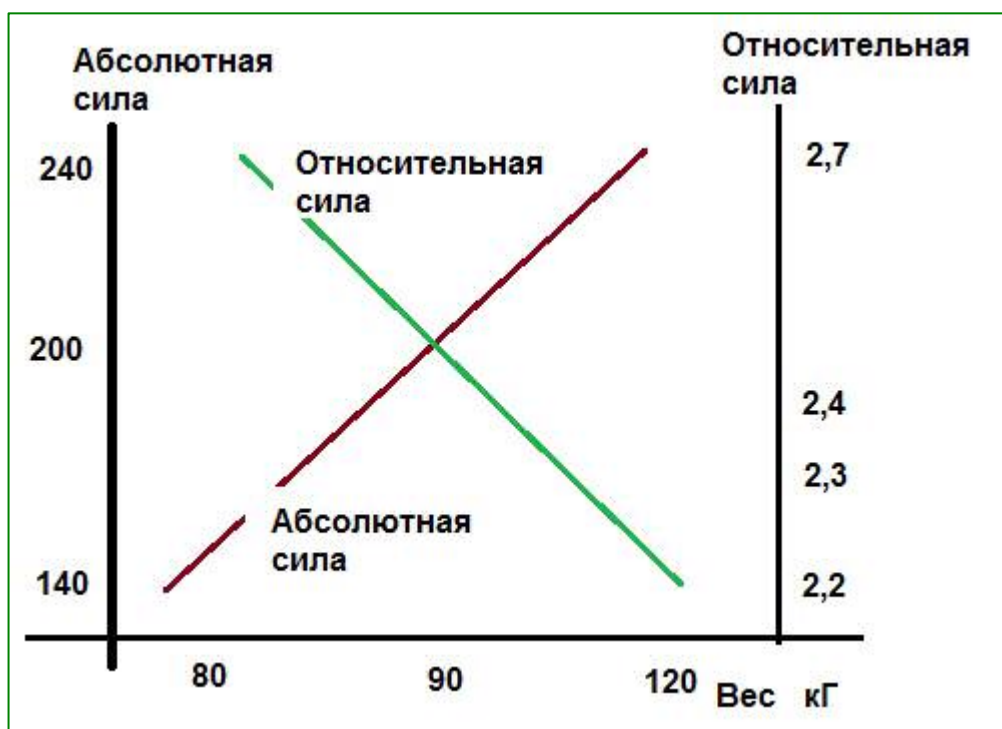


Рисунок 7.1 Схема определения нагрузок

Сопоставим линейные (h – длина, ширина, глубина), поверхностные (h_2 – площадь сечений, поверхность тела) и объемные (h_3 – объем и вес тела) размеры этих людей:

Таблица 7.1

	А	Б
Линейные размеры	1	1,5
Поверхностные размеры (площади)	12 = 1	1,52 = 2,25
Объемные размеры	13 = 1	1,53 = 3,375

Видно, что если длина тела возрастает в 1,5 раза, то площади сечений (h_2 , например, физиологические поперечники мышц) увеличатся в 2,25 раза, а, скажем, вес тела – в 3,375 раза. Поскольку при прочих равных условиях сила тяги мышц определяется величиной их физиологического поперечника, то Б будет в 2,25 раза сильнее, чем А (например, поднимет вес в 2,25 раза больше). Но если этим людям надо поднимать собственное тело (т. е. проявлять относительную, а не абсолютную силу), то преимущество будет у А: ведь он легче в 3,375 раза.

Величина механической работы пропорциональна одновременно силе (т. е. физиологическому поперечнику h_2) и пути действия силы (h). Поэтому она пропорциональна линейным размерам тела в третьей степени (h_3).

Высота подъема ОЦМ тела при прыжке вверх (высота прыжка) прямо пропорциональна той максимальной работе, которую мышцы могут совершить при отталкивании (h_3) и обратно пропорциональна весу тела (h_3). В результате высота прыжка не зависит от размеров тела, а высота планки, которую может преодолеть спортсмен.

Пропорции и конституциональные особенности тела, как и тотальные размеры, влияют на выбор вида спорта, узкой специализации в рамках данного вида, используемого варианта спортивной техники, а также тактики действий на соревнованиях (например, в единоборствах).

Так, техника подъема штанги различна у тяжелоатлетов одной и той же весовой категории и примерно с одной и той же длиной тела, но разными пропорциями (длинные ноги–короткое туловище или короткие ноги–длинное туловище и т. п.). В борьбе спортсмены более низкого роста (по сравнению со своим противником) не показывают высокой результативности, применяя, скажем, такие приемы, как броски прогибом; броски через спину и подхватом в этом случае, как правило, более эффективны.

У спортсменов высокого класса даже отдельные мелкие особенности телосложения могут иметь значение. Например, у тяжелоатлетов длинная кисть позволяет захватить штангу при рывке всеми пальцами; при короткой кисти хват выполняется лишь тремя пальцами, что снижает его силу. Поэтому у большинства рекордсменов мира в рывке длина кистей выше средних размеров. В практической работе тренеры должны учитывать неодинаковые двигательные возможности людей с различным строением тела.

Онтогенез моторики

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

Два основных фактора определяют развитие моторики – созревание и научение. Созреванием называют наследственно обусловленные изменения анатомического строения и физиологических функций организма, происходящие в течение жизни человека: увеличение размеров и изменение формы тела ребенка в процессе его роста, изменения, связанные с половым созреванием, старением и др. В раннем детстве громадное значение имеет дозревание нервно-мышечного аппарата (в частности, коры больших полушарий головного мозга, которая к моменту рождения еще не сформировалась). В основных чертах двигательный аппарат ребенка формируется лишь к 2—2,5 годам.

Под научением понимают освоение новых движений или совершенствование в них под влиянием специальной практики, обучения или тренировки.

Не всегда легко определить, что лежит в основе того или иного изменения двигательных показателей – созревание или научение, особенно в младенческом и преддошкольном возрасте (до 3 лет). Например, почему младенец начинает сам сидеть, стоять, ходить? Потому, что он научился этому или вследствие того, что его нервная система и мышечный аппарат настолько созрели, что он оказывается в состоянии это сделать без обучения.

Подобные вопросы часто исследуют на идентичных близнецах: одного из них обучают, а другого нет. Оказывается, есть такие позы и движения (сидение, стояние, ходьба, произвольное мочеиспускание и др.), специальное обучение которым в младенческом возрасте практически не ускоряет овладения ими. Приходит время, и дети, не подвергавшиеся специальной тренировке, догоняют своих братьев и сестер. Такого рода факты привели некоторых западных ученых к мысли о том, что главное в онтогенезе моторики в раннем детском возрасте – созревание. По современным представлениям происходит запуск своеобразных внутренних механизмов развития. Действие таких механизмов относят к генным структурам. По всей видимости ПРИРОДА индивидуально определила время запуска таких механизмов. Они предполагали, что все основные движения наследуются ребенком от родителей и проявляются вонне по мере того, как созревает его нервная система и двигательный аппарат.

В действительности научение эффективно лишь тогда, когда достигнута необходимая степень анатомо-физиологической зрелости организма, и вовсе без обучения (хотя бы в виде возможности наблюдать правильный образец) овладение новыми движениями невозможно. Следует признать что определенные навыки возможно приобрести только в социуме, где таких примеров, скажем для подражания, очень много. Это доказывается, в частности, тем, что дети, выключенные из человеческого общества, не овладевают типичными для человека движениями, например прямохождением.

Таким образом, онтогенез моторики определяется взаимодействием созревания и научения. При попытках, в частности, раздельного обучения близнецов было показано, что сроки овладения некоторыми движениями (например, начало ходьбы) не изменялись под влиянием обучения и помощи; другие движения осваивались намного быстрее обычного (например, можно обучить ребенка катанию

на роликовых коньках одновременно с началом ходьбы, а обучить плавать даже раньше, чем ходить). Однако иногда чрезмерно раннее обучение мешает овладению движением.

Вероятно, ранний (преждевременный) запуск искусственным образом программ развития приводит к сбою основного механизма развития организма. Например, годовалые дети, ежедневно обучавшиеся в течение полугода езде на трехколесном велосипеде, хуже ездили на нем впоследствии из-за неправильных навыков и потери интереса, чем дети, которые впервые сели на велосипед в более позднем возрасте.

Созревание у детей проявляется, в частности, в их росте, т. е. увеличении тотальных размеров и изменении пропорций тела. Увеличение тотальных размеров по-разному влияет на двигательные показатели. Одни из них (например, скорость бега, высота прыжка) не зависят от размеров тела, другие (например, относительная сила, величина МПК, приходящаяся на 1 кг веса тела, и зависящая от нее критическая скорость) снижаются с увеличением тотальных размеров. Увеличение размеров тела у детей в процессе роста тоже должно было бы приводить к таким изменениям. Однако здесь картина более сложная. Если говорить, например, об относительной силе, то созревание ребенка выражающееся, в частности, в его росте, должно приводить к снижению относительной силы. Но в процессе созревания происходят такие анатомо-физиологические перестройки в организме, которые вызывают увеличение силовых возможностей.

В результате нередко относительная сила у детей длительное время не изменяется, т. е. абсолютные силовые показатели растут в той же мере, что и собственный вес ребенка (если, конечно, он не занимается специально силовыми упражнениями). Поэтому юные гимнасты при соответствующем уровне подготовки могут поднимать свое тело так же успешно, как и взрослые спортсмены. Совершенно аналогичная картина наблюдается и в отношении других показателей, которые изменяются пропорционально квадрату линейных размеров тела (h^2 , где h – линейный размер тела, например длина тела). У детей школьного возраста такие показатели изменяются мало.

У детей одного возраста, но с разными размерами тела зависимость спортивных результатов от длины тела, в принципе, такая же, как и у взрослых. Например, максимальная скорость бега не зависит от тотальных размеров. Однако есть и существенное различие. Большая длина тела нередко свидетельствует о более раннем созревании, в частности о наступлении полового созревания, что сопровождается очень большими перестройками в организме.

Поэтому в 14 лет у мальчиков (возраст полового созревания) отмечается положительная зависимость между длиной тела и максимальной скоростью бега. В 11 и 18 лет такой зависимости нет. Если же сравнивать детей разного возраста, но имеющих одинаковую длину тела, то старшие бегут быстрее, что, конечно, совершенно, естественно.

Рост связан с изменением пропорций тела. Это также влияет на показатели моторики. Например, при одной и той же длине тела дети более старшего возраста делают при беге шаги большей длины. Частично это объясняется тем, что у них в среднем более длинные ноги.

Двигательный возраст

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

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

Акселеранты в одних двигательных заданиях могут быть ретардантами в других. Полные акселеранты или ретарданты встречаются редко.

Методы математической статистики позволяют точно определить, какой процент людей в состоянии показать тот или иной результат. Подобного рода данные используют при отборе талантливых в спортивном отношении детей.

Если ребенок почему-либо попадает в неблагоприятные условия (болезнь, недостаточное питание и т. п.), то темпы развития моторики у него замедляются. Однако после устранения этих вредных

влияний, если они не были чрезмерными, его двигательные возможности развиваются ускоренными темпами, так что он возвращается, как говорят в данном случае, в свой канал развития. Подобное свойство живых организмов (оно касается не только движений, но и других показателей) называют катализированием или гомеорезом.

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

а) изучение стабильности показателей моторики,

б) изучение наследственных влияний.

При изучении стабильности показателей моторики измеряют, например, у 7-летних детей скорость бега, силу, выносливость и другие

<http://russtil.narod.ru/utkin2.html>

Тема 8. Общая и дифференциальная биомеханика

8.1 Геометрия масс тела

Геометрией масс называется распределение масс между звеньями тела и внутри звеньев. Геометрия масс количественно описывается масс-инерционными характеристиками. Важнейшие из них — масса, радиус инерции, момент инерции и координаты центра масс.

Масса (m) — это количество вещества (в килограммах), содержащееся в теле или отдельном звене.

Вместе с тем масса — это количественная мера инертности тела по отношению к действующей на него силе. Чем больше масса, тем инертнее тело и тем труднее вывести его из состояния покоя или изменить его движение.

Массой определяются гравитационные свойства тела. Вес тела (в Ньютонах)

$$P = m \cdot g, \text{ где } g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \text{ — ускорение свободнопадающего тела.}$$

Масса характеризует инертность тела при поступательном движении. При вращении инертность зависит не только от массы, но и от того, как она распределена относительно оси вращения. Чем больше расстояние от звена до оси вращения, тем больше вклад этого звена в инертность тела. Количественной мерой инертности тела при вращательном движении служит момент инерции:

$$J = mR_{ин}^2,$$

где $R_{ин}$ — радиус инерции — среднее расстояние от оси вращения (например, от оси сустава) до материальных точек тела.

Центром масс называется точка, где пересекаются линии действия всех сил, приводящих тело к поступательному движению и не вызывающих вращения тела. В поле гравитации (когда действует сила тяжести) центр масс совпадает с центром тяжести. Центр тяжести — точка, к которой приложена равнодействующая сил тяжести всех частей тела. Положение общего центра масс тела определяется тем, где находятся центры масс отдельных звеньев. А это зависит от позы, т. е. от того, как части тела расположены друг относительно друга в пространстве.

В человеческом теле можно выделить около 70 звеньев. В примерном варианте рассмотрения обычно оперируют 15 элементами. Упрощение и рассмотрение малого количества звеньев основывается на рассмотрении условий задачи. Но столь подробного описания геометрии масс чаще всего и не требуется. Для решения большинства практических задач достаточно 15-звенной модели человеческого тела (рис. 8.1). Понятно, что в 15-звенной модели некоторые звенья состоят из нескольких элементарных звеньев. Поэтому такие укрупненные звенья правильнее называть сегментами.

Цифры на рис. 8.1 верны для “среднего человека”, они получены путем усреднения результатов исследования многих людей. Индивидуальные особенности человека, и в первую очередь масса и длина тела, влияют на геометрию масс.

Принято, что массы сегментов тела можно определить с помощью следующего уравнения:

$$m_x = B_0 + B_1 m + B_2 H,$$

где m_x — масса одного из сегментов тела (кг), например стопы, голени, бедра и т. д.; m — масса всего тела (кг); H — длина тела (см); B_0, B_1, B_2 — коэффициенты регрессионного уравнения, они различны для разных сегментов (табл. 1).

Примечание. Величины коэффициентов округлены и верны для взрослого мужчины.

Для того чтобы уяснить, как пользоваться таблицей 1 и другими подобными таблицами, вычислим, например, массу кисти человека, у которого масса тела равна 60 кг, а длина тела 170 см.



Рис.8.1— звенная модель человеческого тела: справа — способ деления тела на сегменты и масса каждого сегмента (в % к массе тела); слева — места расположения центров масс сегментов (в % к длине сегмента)— см. табл. 1 (по В. М. Зацюрскому, А. С. Аруину, В. Н. Селуянову)

Масса кисти = $- 0,12 + 0,004 \times 60 + 0,002 \times 170 = 0,46$ кг. Зная, каковы массы и моменты инерции звеньев тела и где расположены их центры масс, можно решить много важных практических задач. В том числе:

- определить количество движения, равное произведению массы тела на его линейную скорость ($m \cdot v$);
- определить кинетический момент, равный произведению момента инерции тела на угловую скорость ($J\omega$); при этом нужно учитывать, что величины момента инерции относительно разных осей неодинаковы;
- оценить, легко или трудно управлять скоростью тела или отдельного звена;
- определить степень устойчивости тела и т. д.

Таблица 8.1

Коэффициенты уравнения для вычисления массы сегментов тела по массе (m) и длине (l) тела

Сегменты	Коэффициенты уравнения		
	B_0	B_1	B_2
Стопа	—0,83	0,008	0,007
Голень	—1,59	0,036	0,012
Бедро	—2,65	0,146	0,014
Кисть	—0,12	0,004	0,002
Предплечье	0,32	0,014	—0,001
Плечо	0,25	0,030	—0,003
Голова	1,30	0,017	0,014
Верхняя часть туловища	8,21	0,186	—0,058
Средняя часть туловища	7,18	0,223	—0,066
Нижняя часть туловища	—7,50	0,098	0,049

Из этой формулы видно, что при вращательном движении относительно той же оси инертность человеческого тела зависит не только от массы, но и от позы. Приведем пример.

На рис. 8 изображена фигуристка, выполняющая вращение. На рис. 8, А спортсменка вращается быстро и делает около 10 оборотов в секунду. В позе, изображенной на рис. 8, Б, вращение резко замедляется и затем прекращается. Это происходит потому, что, отводя руки в стороны, фигуристка делает свое тело инертнее: хотя масса (m) остается той же, увеличивается радиус инерции ($R_{ин}$) и, следовательно, момент инерции.

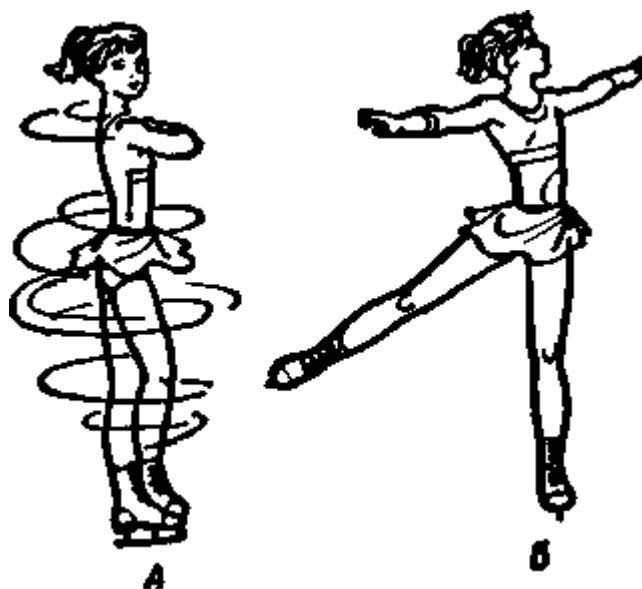


Рис. 8.2 Замедление вращения при изменении позы: А — меньшая; Б — большая величина радиуса инерции и момента инерции, который пропорционален квадрату радиуса инерции ($I = m \cdot R_{ин}^2$)

Еще одной иллюстрацией сказанному может быть шуточная задача: что тяжелее (точнее, инертнее)—килограмм железа или килограмм ваты? При поступательном движении их инертность одинакова. При круговом движении труднее перемещать вату. Ее материальные точки дальше отстоят от оси вращения, и поэтому момент инерции значительно больше.

Биомеханические звенья представляют собой своеобразные рычаги и маятники. Как известно, рычаги бывают первого рода (когда силы приложены по разные стороны от точки опоры) и второго рода. Пример рычага второго рода представлен на рис. 8.3, А: гравитационная сила (F_1) и противодействующая ей сила мышечной тяги (F_2) приложены по одну сторону от точки опоры, находящейся в данном случае в локтевом суставе. Подобных рычагов в теле человека большинство. Но есть и рычаги первого рода, например голова (рис. 8.3, Б) и таз в основной стойке. Рассмотрим пример. Задание: найдите рычаг первого рода на рис. 9, А.

Рычаг находится в равновесии, если равны моменты противодействующих сил (см. рис. 8.3,А):

$$F_2 l_2 \cos \alpha = F_1 l_1,$$

F_2 — сила тяги двуглавой мышцы плеча; l_2 — короткое плечо рычага, равное расстоянию от места прикрепления сухожилия до оси вращения; α — угол между направлением действия силы и перпендикуляром к продольной оси предплечья.

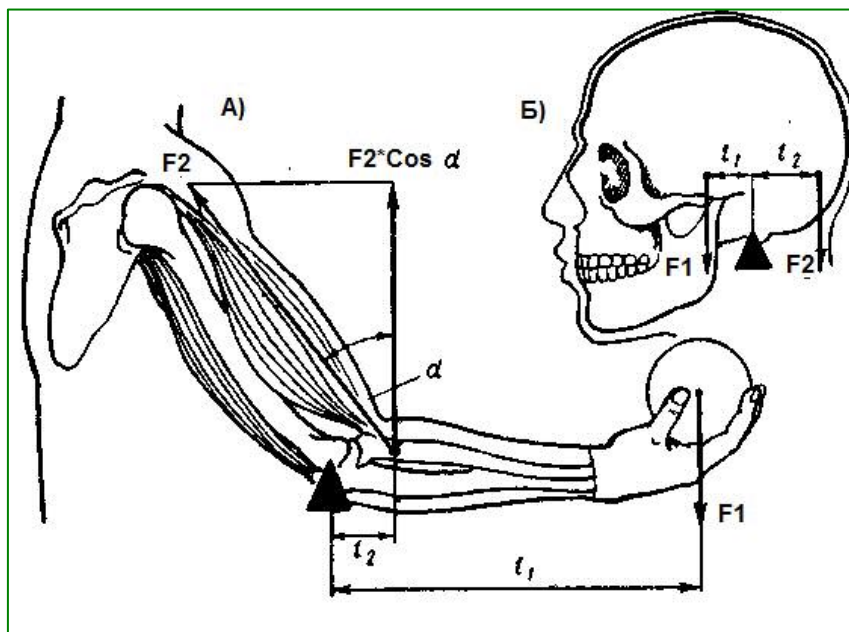


Рисунок 8.3 Рычажное устройство (модель)

Рычажное устройство двигательного аппарата дает человеку возможность выполнять дальние броски, сильные удары и т. п. Но ничто на свете даром не дается. Мы выигрываем в скорости и мощности движения ценой увеличения силы мышечного сокращения. Например, для того чтобы, сгибая руку в локтевом суставе, перемещать груз массой 1 кг (т. е. с силой тяжести 10 Н) так, как показано на рис. 8.3, А, двуглавая мышца плеча должна развить силу 100—200 Н.

“Обмен” силы на скорость тем более выражен, чем больше соотношение плеч рычага. Проиллюстрируем это важное положение примером из гребли (рис. 10). Все точки весла-тела, движущегося вокруг оси, имеют одну и ту же угловую скорость

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}.$$

Но их линейные скорости неодинаковы. Линейная скорость (v) тем выше, чем больше радиус вращения (r):

$$v = \omega \cdot r.$$

Следовательно, для увеличения скорости нужно увеличивать радиус вращения. Но тогда придется во столько же раз увеличить и силу, прикладываемую к веслу. Именно поэтому длинным веслом труднее грести, чем коротким, бросить тяжелый предмет на дальнюю дистанцию труднее,

чем на близкую, и т. д. Об этом знал еще Архимед, руководивший обороной Сиракуз от римлян и изобретавший рычажные приспособления для метания камней.

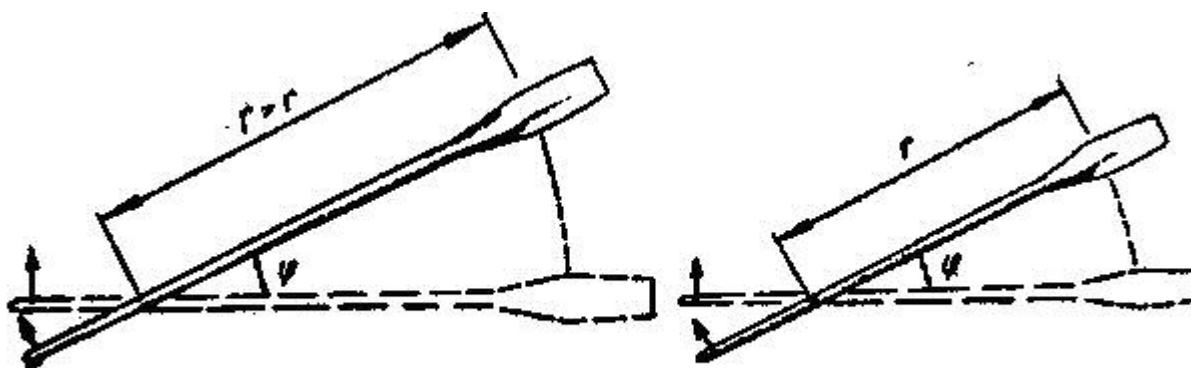


Рисунок 8.4 Схема организации движений при гребле

Руки и ноги человека могут совершать колебательные движения. Это делает наши конечности похожими на маятники. Наименьшие затраты энергии на перемещение конечностей имеют место, когда частота движений на 20—30% больше частоты собственных колебаний руки или ноги:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}},$$

где ($g=9,8 \text{ м/с}^2$; l — длина маятника, равная расстоянию от точки подвеса до центра масс руки или ноги).

Эти 20—30% объясняются тем, что нога не является однозвенным цилиндром, а состоит из трех сегментов (бедра, голени и стопы). Обратите внимание: собственная частота колебаний не зависит от массы качающегося тела, но уменьшается при увеличении длины маятника.

Делая частоту шагов или гребков при ходьбе, беге, плавании и т. п. резонансной (т. е. близкой к собственной частоте колебаний руки или ноги), удастся минимизировать затраты энергии.

Замечено, что при наиболее экономичном сочетании частоты и длины шагов или гребков человек демонстрирует существенно повышенную физическую работоспособность. Это полезно учитывать не только при тренировке спортсменов, но и при проведении физкультурных занятий в школах и группах здоровья.

Простейшая форма рекуперации — переход потенциальной энергии в кинетическую, затем снова в потенциальную и т. д. (рис. 8.5). При резонансной частоте движений такие преобразования осуществляются с минимальными потерями энергии. Это означает, что метаболическая энергия, однажды созданная в мышечных клетках и перешедшая в форму механической энергии, используется многократно — и в этом цикле движений, и в последующих. А если так, то потребность в притоке метаболической энергии уменьшается.

Один из вариантов рекуперации энергии при циклических движениях: потенциальная энергия тела (сплошная линия) переходит в кинетическую (пунктир), которая вновь преобразуется в потенциальную и способствует переходу тела гимнаста в верхнее положение; цифры на графике соответствуют пронумерованным позам спортсмена

Благодаря рекуперации энергии выполнение циклических движений с темпом, близким к резонансной частоте колебаний конечностей, — эффективный способ сохранения и накопления энергии. Резонансные колебания способствуют концентрации энергии, и в мире неживой природы они иногда небезопасны. Например, известны случаи разрушения моста, когда по нему шло воинское подразделение, четко отбивая шаг. Поэтому по мосту положено идти не в ногу.

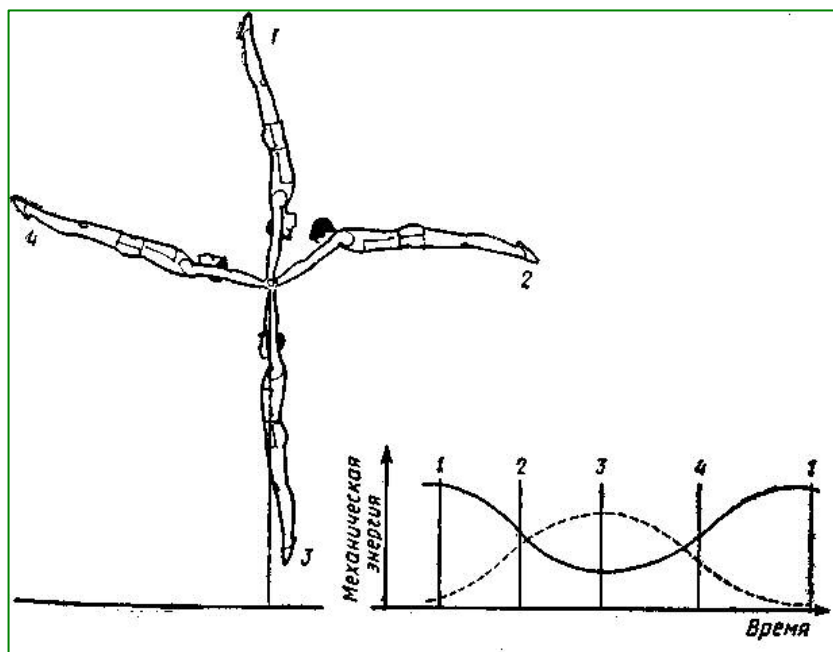


Рис. 8.5. Моделирование процесса смены движений

8.2 Механические свойства костей и суставов

Механические свойства костей определяются их разнообразными функциями; кроме двигательной, они выполняют защитную и опорную функции.

Кости черепа, грудной клетки и таза защищают внутренние органы. Опорную функцию костей выполняют кости конечностей и позвоночника.

Кости ног и рук продолговатые и трубчатые. Трубчатое строение костей обеспечивает противодействие значительным нагрузкам и вместе с тем в 2—2,5 раза снижает их массу и значительно уменьшает моменты инерции.

Различают четыре вида механического воздействия на кость:

- растяжение,
- сжатие,
- изгиб
- кручение.

При растягивающей продольной силе кость выдерживает напряжение 150 Н/мм². Это в 30 раз больше, чем давление, разрушающее кирпич. Установлено, что прочность кости на растяжение выше, чем у дуба, и почти равна прочности чугуна.

При сжатии прочность костей еще выше. Так, самая массивная кость— большеберцовая выдерживает вес 27 человек. Предельная сила сжатия составляет 16000— 18000 Н.

При изгибе кости человека также выдерживают значительные нагрузки. Например, силы 12000 Н (1,2 т) недостаточно, чтобы сломать бедренную кость. Подобный вид деформации широко встречается и в повседневной жизни, и в спортивной практике. Например, сегменты верхней конечности деформируются на изгиб при удержании положения “крест” в виси на кольцах.

При движениях кости не только растягиваются, сжимаются и изгибаются, но также и скручиваются. Например, при ходьбе человека моменты скручивающих сил могут достичь 15 Нм. Эта величина в несколько раз меньше предела прочности костей. Действительно, для разрушения, например, большеберцовой кости момент скручивающей силы должен достичь 30—140 Нм (Сведения о величинах сил и моментов сил, приводящих к деформации костей, приблизительны, а цифры, по-видимому, занижены, поскольку получены преимущественно на трупном материале. Но и они свидетельствуют о многократном запасе прочности человеческого скелета. В некоторых странах практикуется прижизненное определение прочности костей. Такие исследования хорошо оплачиваются, но приводят к увечьям или гибели испытуемых и потому антигуманны).

Таблица 8.1 Величины силы, действующей на головку бедренной кости

Вид двигательной деятельности	Величина силы (по Вид двигательной деятельности отношению к силе тяжести тела)
Сидение	0,08
Стояние на двух ногах	0,25
Стояние на одной ноге	2,00
Ходьба по ровной поверхности	1,66
Подъем и спуск по наклонной поверхности	2,08
Быстрая ходьба	3,58

Особенно велики допустимые механические нагрузки у спортсменов, потому что регулярные тренировки приводят к рабочей гипертрофии костей. Известно, что у штангистов утолщаются кости ног и позвоночника, у футболистов — внешняя часть кости плюсны, у теннисистов — кости предплечья и т. д.

Механические свойства суставов зависят от их строения. Суставная поверхность смачивается синовиальной жидкостью, которую, как в капсуле, хранит суставная сумка. Синовиальная жидкость обеспечивает уменьшение коэффициента трения в суставе примерно в 20 раз. Поразителен характер действия “выжимающейся” смазки, которая при снижении нагрузки на сустав поглощается губчатыми образованиями сустава, а при увеличении нагрузки выжимается для смачивания поверхности сустава и уменьшения коэффициента трения.

Действительно, величины сил, воздействующих на суставные поверхности, огромны и зависят от вида деятельности и ее интенсивности (табл. 2).

Примечание. Еще выше силы, действующие на коленный сустав; при массе тела 90 кг они достигают: при ходьбе 7000 Н, при беге 20000 Н.

Прочность суставов, как и прочность костей, небеспредельна. Так, давление в суставном хряще не должно превышать 350 Н/см². При более высоком давлении прекращается смазка суставного хряща и увеличивается опасность его механического стирания. Это нужно учитывать в особенности при проведении туристических походов (когда человек несет тяжелый груз) и при организации оздоровительных занятий с людьми среднего и пожилого возраста. Ведь известно, что с возрастом смазывание суставной сумки становится менее обильным.

Биомеханические свойства мышц

Скелетные мышцы являются основным источником механической энергии человеческого тела. Их можно сравнить с двигателем. На чем же основан принцип действия такого “живого дви-

гателя”)? Что приводит в действие мышцу и какие свойства она при этом проявляет? Как мышцы взаимодействуют между собой? И наконец, какие режимы функционирования мышц являются наилучшими? Ответы на эти вопросы вы найдете в настоящем разделе.

К ним относятся сократимость, а также упругость, жесткость, прочность и релаксация. Сократимость — это способность мышцы сокращаться при возбуждении. В результате сокращения происходит укорочение мышцы и возникает сила тяги.

Воспользуемся моделью (рис. 8.6), в которой соединительнотканные образования (параллельный упругий компонент) имеют механический аналог в виде пружины (1). К соединительнотканным образованиям относятся: оболочка мышечных волокон и их пучков, сарколемма и фасции.

При сокращении мышцы образуются поперечные актино-миозиновые мостики, от числа которых зависит сила сокращения мышцы. Актин-миозиновые мостики сократительного компонента изображаются на модели в виде цилиндра, в котором движется поршень (2).

Аналогом последовательного упругого компонента является пружина (3), последовательно соединенная с цилиндром. Она моделирует сухожилие и те миофибриллы (сократительные нити, составляющие мышцу), которые в данный момент не участвуют в сокращении.

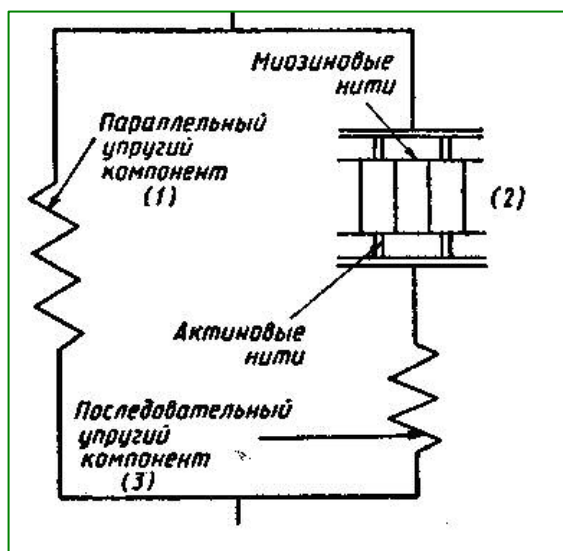


Рис. 8.6 Модель из трех компонент мышечной ткани



Рис. 8.7 Макетирование растягивающего усилия мышц

Модель отображает упругие свойства мышц⁶, т. е. ее способность восстанавливать первоначальную длину после устранения деформирующей силы. Существование упругих свойств объясняется тем, что при растягивании в мышце возникает энергия упругой деформации. Здесь мышцу можно сравнить с пружиной или с резиновым жгутом: чем сильнее растянута пружина, тем большая энергия в ней запасена. Это явление широко используется в спортивной практике. Например, в хлесте предварительное растягивание мышц приводит к растягиванию и параллельного, и последовательного упругого компонента. В них запасается энергия упругой деформации, которая в финальной части движения (метания, толкания и т. д.) преобразуется в энергию движения (кинетическую энергию).



Рисунок 8.8 Схема организации мышечных растяжений. Модель Хилла

По закону Гука для мышцы ее удлинение нелинейно зависит от величины растягивающей силы (рис. 13). Эта кривая (ее называют “сила — длина”) является одной из характеристических зависимостей, описывающих закономерности мышечного сокращения. По характеристическим кривым определяют жесткость и прочность мышцы.

Жесткость — это способность противодействовать прикладываемым силам. Коэффициент жесткости определяется как отношение приращения восстанавливающей силы к приращению длины мышцы под действием внешней силы:

$$K_{ж} = \frac{\Delta F}{\Delta l} \text{ (Н/м)}.$$

Величина, обратная жесткости, называется податливостью мышцы. Коэффициент податливости:

$$K_{п} = \frac{\Delta l}{\Delta F} \text{ (м/Н)} — \text{показывает, насколько удлинится мышца при изменении внешней силы на единицу. Например, податливость сгибателя предплечья близка к 1 мм/Н.}$$

Прочность мышцы оценивается величиной растягивающей силы, при которой происходит разрыв мышцы.

Сила, при которой происходит разрыв мышцы (в пересчете на 1 мм² ее поперечного сечения), составляет от 0,1 до 0,3 Н/мм². Для сравнения: предел прочности сухожилия около 50 Н/мм², а фасций около 14 Н/мм². Возникает вопрос: почему иногда рвется сухожилие, а мышца

⁶ Закон Гука — утверждение, согласно которому деформация, возникающая в упругом теле (пружине, стержне, консоли, балке и т. п.), пропорциональна приложенной к этому телу силе. Для тонкого растяжимого стержня закон Гука имеет вид:

$$F = k \Delta l.$$

Здесь F — сила, которой растягивают (сжимают) стержень, Δl — абсолютное удлинение (сжатие) стержня, а k — коэффициент упругости (или жесткости).

остается целой? По-видимому, это может происходить при очень быстрых движениях: мышца успевает самортизировать, а сухожилие нет.

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

Режимы сокращения и разновидности работы мышц

Мышцы, прикрепленные сухожилиями к костям, функционируют в изометрическом и анизометрическом режимах (см. рис. 8.8).

При изометрическом (удерживающем) режиме длина мышцы не изменяется (от греч. “изо” — равный, “метр” — длина). Например, в режиме изометрического сокращения работают мышцы человека, который подтянулся и удерживает свое тело в этом положении. Аналогичные примеры: “крест Азаряна” на кольцах, удержание штанги и т. п.

На кривой Хилла изометрическому режиму соответствует величина статической силы (F_0), при которой скорость сокращения мышцы равна нулю.

Замечено, что статическая сила, проявляемая спортсменом в изометрическом режиме, зависит от режима предшествующей работы. Если мышца функционировала в уступающем режиме, то F_0 больше, чем в том случае, когда выполнялась преодолевающая работа. Именно поэтому, например, “крест Азаряна” легче выполнить, если спортсмен приходит в него из верхнего положения, а не из нижнего.

При анизометрическом сокращении мышца укорачивается или удлиняется. В анизометрическом режиме функционируют мышцы бегуна, пловца, велосипедиста и т. д.

У анизометрического режима две разновидности. В преодолевающем режиме мышца укорачивается в результате сокращения. А в уступающем режиме мышца растягивается внешней силой. Например, икроножная мышца спринтера функционирует в уступающем режиме при взаимодействии ноги с опорой в фазе амортизации, а в преодолевающем режиме — в фазе отталкивания. Правая часть кривой Хилла (см. рис. 8.8) отображает закономерности преодолевающей работы, при которой возрастание скорости сокращения мышцы вызывает уменьшение силы тяги. А в уступающем режиме наблюдается обратная картина: увеличение скорости растяжения мышцы сопровождается увеличением силы тяги. Это является причиной многочисленных травм у спортсменов (например, разрыва ахиллова сухожилия у спринтеров и прыгунов в длину).



Рис. 8.9. Мощность мышечного сокращения

В зависимости от проявляемой силы и скорости; заштрихованный прямоугольник соответствует максимальной мощности

Групповое взаимодействие мышц

Существуют два случая группового взаимодействия мышц: синергизм и антагонизм.

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

Мышцы-антагонисты (в противоположность мышцам-синергистам) имеют разнонаправленное действие. Так, если одна из них выполняет преодолевающую работу, то другая — уступающую. Существованием мышц-антагонистов обеспечивается: 1) высокая точность двигательных действий; 2) снижение травматизма.

Мощность и эффективность мышечного сокращения

По мере увеличения скорости мышечного сокращения сила тяги мышцы, функционирующей в преодолевающем режиме, снижается по гиперболическому закону (см. рис. 14). Известно, что механическая мощность равна произведению силы на скорость. Существуют сила и скорость, при которых мощность мышечного сокращения наибольшая (рис. 15). Этот режим имеет место, когда и сила, и скорость составляют примерно 30% от максимально возможных величин.

Наряду с режимом максимальной мощности представляет интерес и наиболее экономичный режим мышечного сокращения

Тема 9. Биомеханический контроль

Двигательное мастерство человека, его умение в любых условиях двигаться быстро, точно и красиво, зависит от уровня физической, технической, тактической, психологической и теоретической подготовленности. Эти пять факторов культуры движений являются ведущими и в спорте, и в физическом воспитании школьников, и при занятиях массовыми формами физкультуры. Для совершенствования двигательного мастерства и даже для сохранения его на прежнем уровне необходим контроль за каждым из названных факторов.

Объектом биомеханического контроля служит моторика человека, т. е. двигательные (физические) качества и их проявления. Это означает, что в итоге биомеханического контроля мы получаем сведения:

- 1) о технике двигательных действий и тактике двигательной деятельности;
- 2) о выносливости, силе, быстроте, ловкости и гибкости, должный уровень которых является необходимым условием высокого технико-тактического мастерства (В англоязычной литературе по физическому воспитанию принят более широкий перечень двигательных качеств, в том числе способность выполнять упражнения на равновесие, танцевальные упражнения и т. д.).

Можно сказать еще проще: биомеханический контроль дает ответ на три вопроса:

- 1) Что делает человек?
- 2) Насколько хорошо он делает это?
- 3) Благодаря чему он это делает?

Человек становится объектом измерения с раннего детства. У новорожденного измеряют рост, вес, температуру тела, продолжительность сна и т. д. Позже, в школьном возрасте, в число измеряемых переменных включаются знания и умения. Чем взрослее человек, чем шире круг его интересов, тем многочисленнее и разнообразнее характеризующие его показатели. И тем труднее осуществить точные измерения. Шкалы измерений и единицы измерений

Шкалой измерения называется последовательность величин, позволяющая установить соответствие между характеристиками изучаемых объектов и числами. При биомеханическом контроле чаще всего используют шкалы наименований, отношений и порядка.

Шкала наименований — самая простая из всех. В этой шкале числа, буквы, слова или другие условные обозначения выполняют роль ярлыков и служат для обнаружения и различения изучаемых объектов. Например, при контроле за тактикой игры футбольной команды полевые номера помогают опознать каждого игрока.

Числа или слова, составляющие шкалу наименований, разрешается менять местами. И если их без ущерба для точности значения измеряемой переменной можно менять местами, то эту переменную следует измерять по шкале наименований. Например, шкала наименований используется при определении объема техники и тактики (об этом рассказывается в следующем разделе).

Шкала порядка возникает, когда составляющие шкалу числа упорядочены по рангам, но интервалы между рангами нельзя точно измерить.

Процедура биомеханического контроля соответствует следующей схеме:

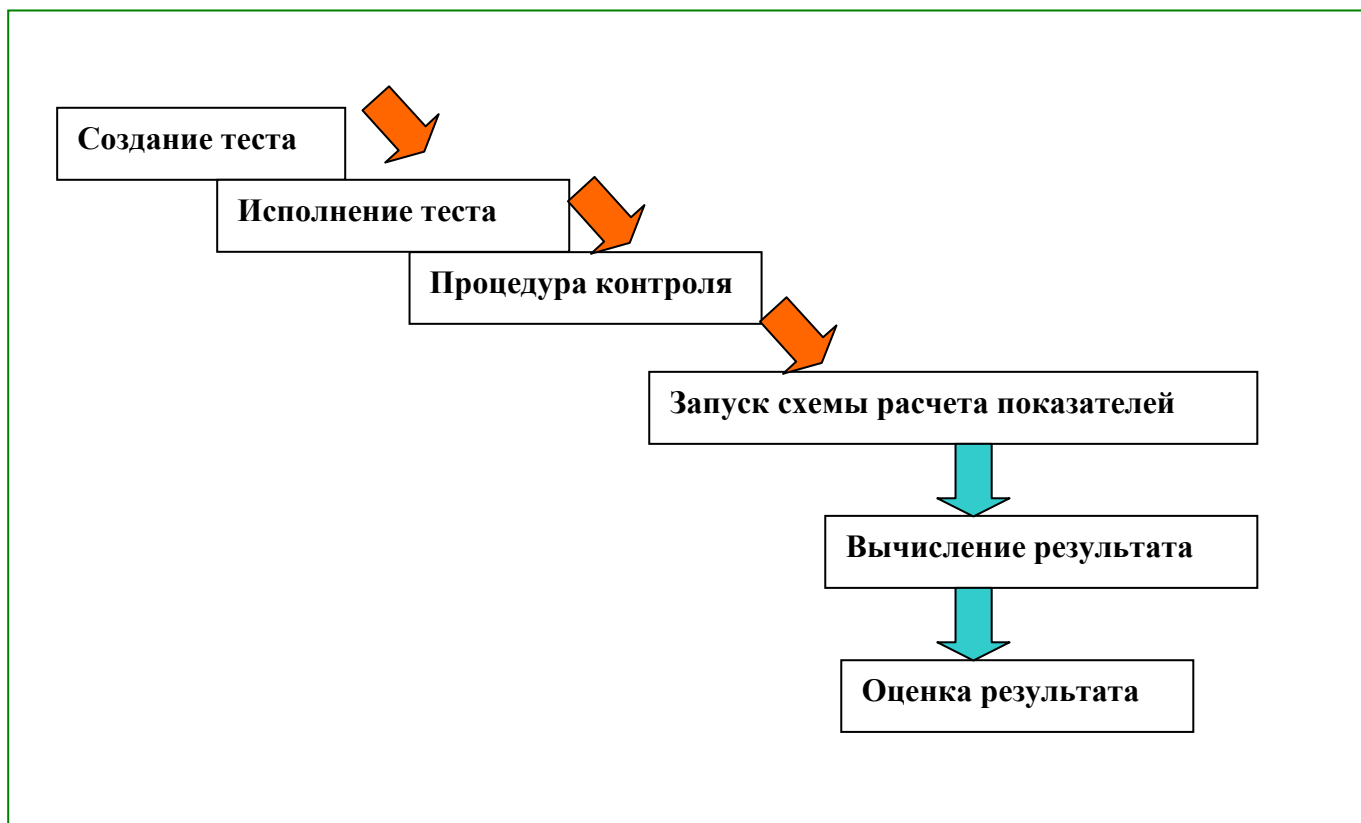


Рис. 9.1 Схема формирования результата

Например, знания по биомеханике или навыки и умения на уроках физкультуры оцениваются по шкале: “плохо” — “удовлетворительно” — “хорошо” — “отлично”. Шкала порядка дает возможность не только установить факт равенства или неравенства измеряемых объектов, но и определить характер неравенства в качественных понятиях: “больше — меньше”, “лучше — хуже”. Однако на вопросы: “На сколько больше?”, “На сколько лучше?” — шкалы порядка ответа не дают.

С помощью шкал порядка измеряют “качественные” показатели, не имеющие строгой количественной меры (знания, способности, артистизм, красоту и выразительность движений и т. п.).

Шкала порядка бесконечна, и в ней нет нулевого уровня. Это и понятно. Какой бы неправильной ни была, походка или осанка человека, всегда можно встретить еще худший вариант. И с другой стороны, какими бы красивыми и выразительными не были двигательные действия гимнастки, всегда найдутся пути сделать их еще прекраснее.

Шкала отношений самая точная. В ней числа не только упорядочены по рангам, но и разделены равными интервалами — единицами измерения 1. Особенность шкалы отношений состоит в том, что в ней определено положение нулевой точки.

По шкале отношений измеряют размеры и массу тела и его частей, положение тела в пространстве, скорость и ускорение, силу, длительность временных интервалов и многие другие биомеханические характеристики. Наглядными примерами шкалы отношений являются: шкала весов, шкала секундомера, шкала спидометра.

Шкала отношений точнее шкалы порядка. Она позволяет не только узнать, что один объект измерения (технический прием, тактический вариант и т. п.) лучше или хуже другого, но и дает ответы на вопросы, на сколько лучше и во сколько раз лучше. Поэтому в биомеханике стараются применять именно шкалы отношений и с этой целью регистрируют биомеханические характеристики.

Биомеханическими характеристиками называются показатели, используемые для количественного описания и анализа двигательной деятельности. Все биомеханические характеристики делятся на кинематические, динамические и энергетические (табл. 3). У них разное назначение: кинематические характеризуют внешнюю картину двигательной деятельности, динамические несут информацию о причинах изменения движений, энергетические дают представление о механической производительности и экономичности.

Биомеханические характеристики описывают поступательные и вращательные движения. Поступательным называется такое движение, при котором все точки тела перемещаются по одинаковым траекториям. При вращательном движении движущиеся точки тела перемещаются по круговым траекториям, центры которых лежат на оси вращения.

Но в большинстве движений человека поступательный и вращательный компоненты присутствуют одновременно, такие движения называются составными. Причем двигательный аппарат человека устроен так, что все движения (в том числе и поступательные) образуются из комбинаций вращательных движений в суставах.

Положение любой точки тела (например, любого сустава) или положение спортивного снаряда (например, мяча) определяется координатами в той или иной системе координат. Наиболее популярна прямоугольная система координат, в которой положение материальной точки в пространстве описывается ее координатами на трех взаимно перпендикулярных осях (вертикальной и двух горизонтальных — продольной и поперечной) (рис. 9.2).

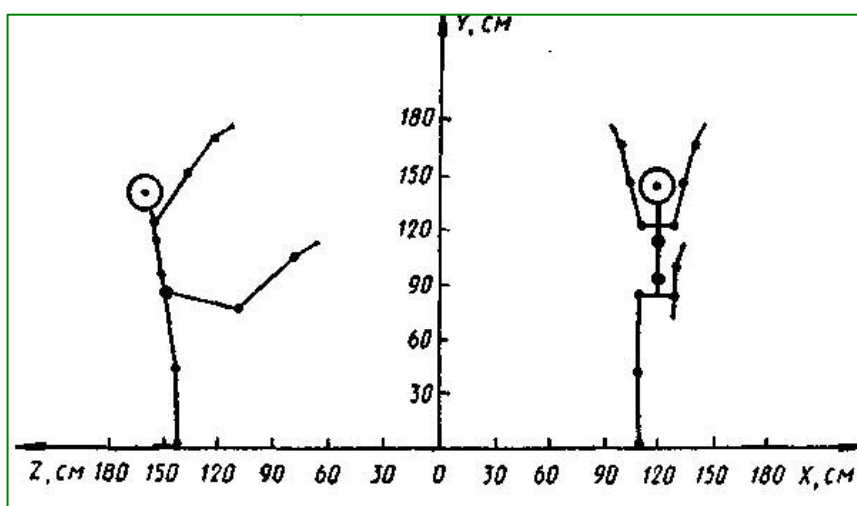


Рис. 9.2. Схематическое изображение (в прямоугольных координатах) гимнастки, выполняющей упражнение на равновесие: справа — вид спереди (фронтальная проекция); слева — вид. сбоку (саггитальная проекция)

Таблица 9.1 Биометрические характеристики

Классификация биомеханических характеристик и их единицы измерения

Биомеханические характеристики					
Кинематические			Энергетические		Динамические
Для поступательного движения		Для вращательного движения	Для поступательного и вращательного движения		Для поступательного движения
Для вращательного движения		Для поступательного движения		Для вращательного движения	
м	перемещение	град.	Работа, Дж		Масса, кг
с	длительность	с	Энергия, Дж		Сила, Н
м/с	скорость	град./с	Мощность, Вт		Момент инерции, кг·м ²
м/с ²	ускорение	град./с ²	Экономичность (коэффициент механической эффективности, %)		
1/мин	темп — ритм	1/мин	Энергетическая стоимость, Дж/м, и пульсовая стоимость, 1/м		Импульс силы, Н·с
					Импульс момента силы, Н·м·с
					Кинетический момент, кг·м ² /с

При выполнении двигательного действия положение тела или спортивного снаряда изменяется. При этом их материальные точки движутся в пространстве по линиям, которые называются траекториями

Траектория может иметь любую, сколь угодно сложную форму. В отличие от нее линейное перемещение

(ΔS) — расстояние по прямой (Точнее, вектор, поскольку, говоря о перемещении, необходимо указывать не только расстояние, но и направление.) между конечным и начальным положением тела. Линейное перемещение измеряется в единицах длины (метрах).

Угловое перемещение

($\Delta \varphi$) — угол поворота тела или отдельного сегмента. Угловое перемещение измеряется в градусах. Задание для самоконтроля знаний: рассматривая рис. 18, приведите примеры линейного и углового перемещений. Затем придумайте другие примеры.

Скорость показывает, как быстро изменяются координаты тела или его материальных точек. Скорость равна частному от деления перемещения (т. е. разности координат) на интервал времени, за который это перемещение произошло:

— линейная скорость $v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$;

— угловая скорость $\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \left(\frac{\text{град}}{\text{с}} \right)$.

— линейное ускорение $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right)$;

Ускорение характеризует быстроту изменения скорости:

Получаемые в результате измерений — угловое ускорение $\epsilon = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \left(\frac{\text{град}}{\text{с}^2} \right)$.

и расчетов величины зависят от принятой системы отсчета.

Например, при беге скорость руки или ноги относительно беговой дорожки равна ее скорости относительно общего центра масс бегуна плюс или минус скорость общего центра

масс относительно дорожки. Этот факт необходимо учитывать при определении механических энергозатрат и выявлении энергетически оптимальных режимов двигательной деятельности.

Тема 10. Датчики биомеханических характеристик

Датчик — первое звено измерительной системы. Датчики непосредственно воспринимают изменения измеряемого показателя и закрепляются либо на теле человека, либо вне его.

Датчик, закрепляемый на человеке, должен иметь минимальный вес и габариты, высокую механическую прочность, удобство крепления и вместе с тем не должен стеснять движений и создавать какого-либо дискомфорта. На теле человека размещаются: маркеры суставов (рис. 10.1), электромиографические электроды, датчики суставного угла (Их чаще называют гониометрическими (от слов *gonios* — угол, *metreo* — измеряю); кроме измерения суставных углов, гониометрические датчики применяются для измерения угловых перемещений в спортивном инвентаре, например угла поворота весла в уключине) и ускорения.

Но уже давно замечено, что точность биомеханического контроля выше, если движения человека ничем не стеснены. Поэтому биомеханические датчики стараются размещать на спортивном инвентаре, чтобы условия, в которых осуществляется контроль, не отличались от естественных условий тренировок и соревнований.

Популярными стали динамографические платформы. Они устанавливаются скрытно в секторе для прыжков или метаний, под покрытием беговой дорожки, гимнастического помоста, игровой площадки и т. п. Наиболее совершенные динамоплатформы позволяют измерить все три составляющие силы (вертикальную и две горизонтальные) и, кроме того, скручивающий момент в точке приложения силы, причем результат измерения не зависит от того, к какой точке приложена сила.

Чувствительными элементами в динамографической платформе служат пьезоэлектрические датчики (похожие на тот, что находится в звукоснимателе электропроигрывателя) или менее хрупкие датчики силы — тензометрические (тензодатчики)

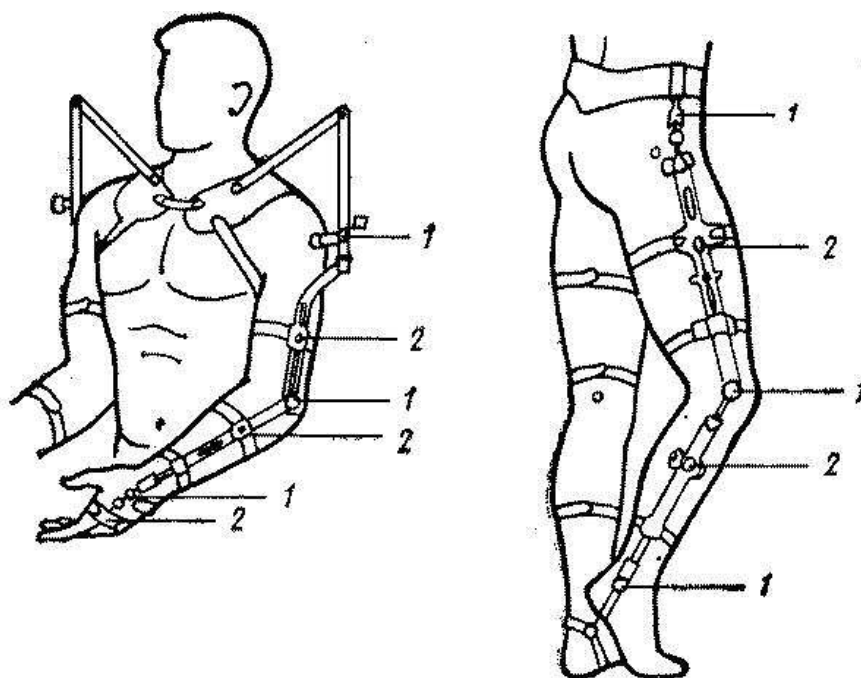


Рис. 10.1. Принцип крепления датчиков

Тензодатчики применяются для измерения силы во многих видах спорта. В гимнастике их наклеивают на перекладину, брусья, кольца, ручки коня и т. д. В тяжелой атлетике — на гриф штанги.

В стрелковом спорте и биатлоне — на спусковой крючок, ложе и приклад. В гребле — на конус уключины или весло

В велосипедном, конькобежном и лыжном спорте для измерения силы немного видоизменяют конструкцию педали, конька, лыжи и лыжной палки, причем эти изменения никак не сказываются на естественной технике движений. В легкой атлетике применяют тензостельки, которые вкладывают в спортивную обувь. Интересно, что появились кроссовки с тензостельками и миниатюрным компьютером, который автоматически подсчитывает темп и силу отталкивания и сигнализирует тренирующемуся человеку, если сила отталкивания и частота шагов выше или ниже оптимальной.

Тензодатчики используют не только для измерения силы, но и для измерения ускорения, а также для регистрации колебаний тела. В этом случае Тензодатчики наклеивают на вертикальный стержень, соединяющий центры нижней и верхней площадки стабиллографической платформы.

Стабилограмма показывает, сколь велика способность человека сохранять устойчивость тела, которая служит важным фактором достижений в гимнастике, акробатике, гребле, фигурном катании и т. д. Кроме того, стабиллография полезна при лечении людей с нарушенной способностью сохранять равновесие, при тестировании состояния нервной системы (например, перед соревнованиями).

Подобно тензодатчикам, не искажают естественных движений и фотоэлектрические датчики, в которых электрический ток возникает под действием света. Они используются для измерения скорости ходьбы и бега. Бегун (а также конькобежец, лыжник и др.) во время движения прерывает световые лучи, падающие на фотоэлементы (рис. 39). Поскольку каждая оптронная пара (источник света — фотоэлемент) находится на определенном расстоянии (S) от следующей, а время (Δt) преодоления этого расстояния измеряется, легко вычислить среднюю скорость на этом отрезке дистанции:

$$v = \frac{S}{\Delta t}.$$

Телеметрия и методы регистрации биомеханических характеристик. Для того чтобы использовать информацию от биомеханических датчиков, ее нужно передать по телеметрическому каналу и зарегистрировать.

Термин «телеметрия», составленный из греческих слов *tele* — далеко и *metron* — мера, означает «измерение на расстоянии». Информацию о результатах измерений можно передавать по проводам, по радио, посредством лучей света и инфракрасных (тепловых) лучей. Проводная телеметрия проста и устойчива при помехах. Ее основной недостаток — невозможность передавать по проводам сигналы с датчиков, размещенных на теле человека, находящегося в движении. Поэтому проводную телеметрию следует использовать в сочетании с динамографической платформой или стационарно установленным спортивным инвентарем, оснащенным датчиками биомеханических характеристик.

Приведем пример. Для регистрации динамограммы воднолыжника нужно приклеить тензодатчики к установленной на корме катера вертикальной стойке. К верхней части стойки прикрепляется конец фала, за другой конец которого держится воднолыжник. В этом случае электрический сигнал от тензодатчиков к регистрирующему прибору (который также размещен на катере) целесообразно передать по проводам.

Радиотелеметрия — это отрасль радиотехники, обеспечивающая передачу по радио информации о результатах измерений.

Радиотелеметрия дает возможность контролировать технико-тактическое мастерство человека в естественных условиях двигательной деятельности. Для этого он должен нести на себе биомеханические датчики и миниатюрное передающее устройство радиотелеметрической системы.

Тема 11. Экзоскелет

Экзоскелет – это устройство повторяющее биомеханику человека и пропорционально увеличивающий усилия при движениях. Произошло название устройства (Каркаса? Костюма? Доспеха? Скафандра?) от двух греческих корней: $\epsilon\chi\omega$ — внешний и $\sigma\kappa\epsilon\lambda\epsilon\tau\omicron\varsigma$ — скелет.

Впервые концепция брони с экзоскелетом была представлена в цикле произведений об авантюристе Томе Свифте, а именно в романе «Том Свифт и его «Джетмарин», вышедшим в 1954 году. Автор романа Джон Элмквист.

В 1957 году в романе Ивана Ефремова «Туманность Андромеды» герои оказываются в плену «железной звезды». Для передвижения по планете, где царил сила тяжести, превышающую земную в несколько раз, использовались экзоскелеты

Вот как работает бронескафандр с экзоскелетом:

«Внутри доспехов находятся сотни рецепторов, реагирующих на давление. Ты двигаешь рукой, возникает давление на рецепторы. Скафандр чувствует его, усиливает и двигается вместе с твоей рукой, чтобы снять давление с отдавших приказ рецепторов. Скафандр запрограммирован на такую обратную связь и не только точно повторяет каждое твое движение, но и значительно усиливает его.



Однако сила его «мышц» контролируется. Самое главное, что при этом совершенно не приходится заботиться об этом контроле. Ты прыгаешь, прыгает и скафандр — конечно, гораздо выше, чем ты прыгнул бы без него: в момент прыжка включаются реактивные двигатели, многократно усиливающие импульс, полученный от «ножных мышц» скафандра. Этот мощный дополнительный толчок придается по линии, проходящей через твой центр тяжести. И таким образом ты спокойно перепрыгиваешь через

Первая попытка создать экзоскелетную конструкцию была предпринята в 1960-х годах. Созданный компанией «Дженерал Электрик» совместно с минобороной США прототип «Hardiman» имел собственную массу 680 кг. Благодаря экзоскелету оператор мог поднимать грузы массой до 340 кг. Планировалось использовать экзоскелет для работы на военных арсеналах, работы с крупнокалиберными авиационными боеприпасами, для

осуществления работ под водой и в космосе, а также для эксплуатации на атомных электростанциях. Увы, на испытаниях в 1965 году костюм показал себя не с лучшей стороны и в серию не пошел.



В 2010 году опять минобороны США совместно с компанией Raytheon разработала экзоскелет военного назначения XOS 2. Экзоскелет первого поколения был выпущен в 2008 году и значительно уступал XOS 2, поэтому расскажем только о второй попытке. Если верить конструкторам костюма в переноске и погрузке тяжестей один оператор в таком экзоскелете заменяет трех солдат. Костюм столь совершенен, что позволяет играть с мячом.

Весит XOS 2 всего 88,5 килограммов. По замыслу солдаты в экзоскелетах существенно ускорят и облегчат погрузку и разгрузку воды, топлива и боеприпасов, как в тылу, так и на поле боя. Для второй версии экзоскелета большим минусом

является его привязанность к источнику питания, который располагается вне костюма. Может XOS 3 будет больше походить, скажем, на тот же костюм «Железного человека»?

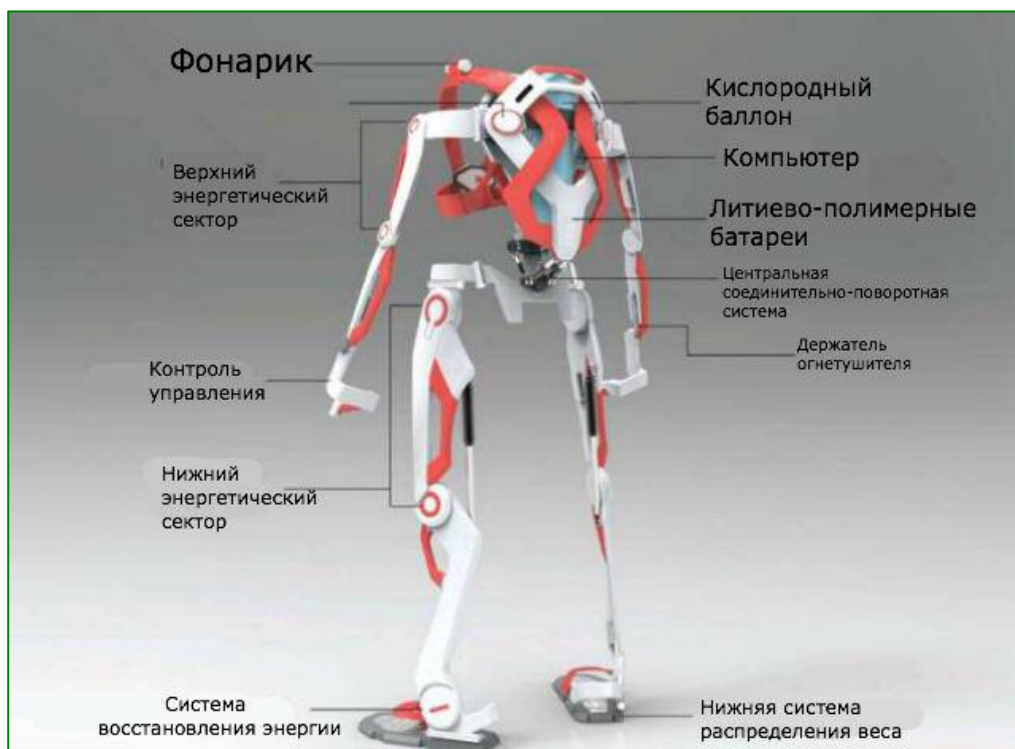


Рисунок 11.1 Схема конструкции экзоскелета

Костюм XOS 2.

В 2013 году в Японии представлен робот-экзоскелет Power Loader. Разработала прототип дочерняя компания корпорации Panasonic. Согласно задумке конструкторов:



"Экзоскелет Power Loader с помощью датчиков усилия измеряет силу, прикладываемую человеком-оператором к органам управления роботом, и усиливает ее многократно с помощью своих серводвигателей. Это снабжает тело человека поистине "нечеловеческими" возможностями, а окружение человека частями и деталями робота ограждает его и создает ему безопасную среду для работы". Прототипы подобных экзоскелетов

применялись при ликвидации аварии на Фукусиме.



Заключение

Современные идеи в области биомеханики все больше тяготеют к спортивной медицине и воспроизведению сложных конструкций роботов. Для спорта биомеханика позволяет определить наличие скрытых резервов организма в достижении поставленной спортивной цели. Для робототехники разработка механических конструкций, на принципах подобию человека и других живых организмов, позволяет конструировать системы передвижения, подъема грузов, технических систем клинического наблюдения за пациентом в виде человеко-подобных.

Литература

1. Клиническая биомеханика /Под ред. В. И. Филатова. — Л.: Медицина, 1980.— 200 с.
2. http://www.spinesurgery.ru/netcat_files/383/271/h_84c9202b01cf195304641c61c23fc703
3. Сироткина И.Е. — Биомеханика между наукой и искусством // Вопросы истории естествознания и техники. 2011. №1. С. 46-70.
4. «Театральная биомеханика», статья из энциклопедии «Кругосвет»
5. Александер Р. — Биомеханика. Перевод с англ. И-во: МИР, М., 1970, с. 5
6. Гален К. О назначении частей человеческого тела: Пер. с древнегреч. — М.: Медицина, 1971 кн. XV, гл. VIII; , с. 885
7. <http://www.vinci.ru/3/tezaurus/9/index.html> Леонардо да Винчи. Тетради по анатомии
8. <http://www.geneticsafety.orgwww.nkj.ru/archive/articles/2099/>
9. <http://flogiston.ru/library/bernstein>
10. Донской Д. Д., Дмитриев С. В. Психосемантические механизмы управления двигательными действиями человека // Теория и практика физ. культуры. 1999, № 9, с. 2-6.
11. Донской. Д.Д. Биомеханика. М.:Просвещение.1975;
12. Зациорский В.М., Аруин А.С.. Биомеханика двигательного аппарата
13. человека. М.: Физкультура и спорт.1981