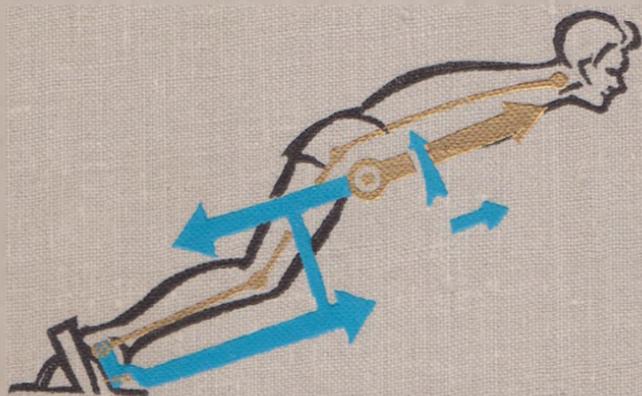


Д. Д. Донской



БИОМЕХАНИКА

1 НОРМАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ

2 ТАНГЕНЦИАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ

3 ЛИНЕЙНОЕ УСКОРЕНИЕ

4 УГЛОВОЕ УСКОРЕНИЕ

5 РАБОТА СИЛЫ = КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

$Ft = \Delta mv$

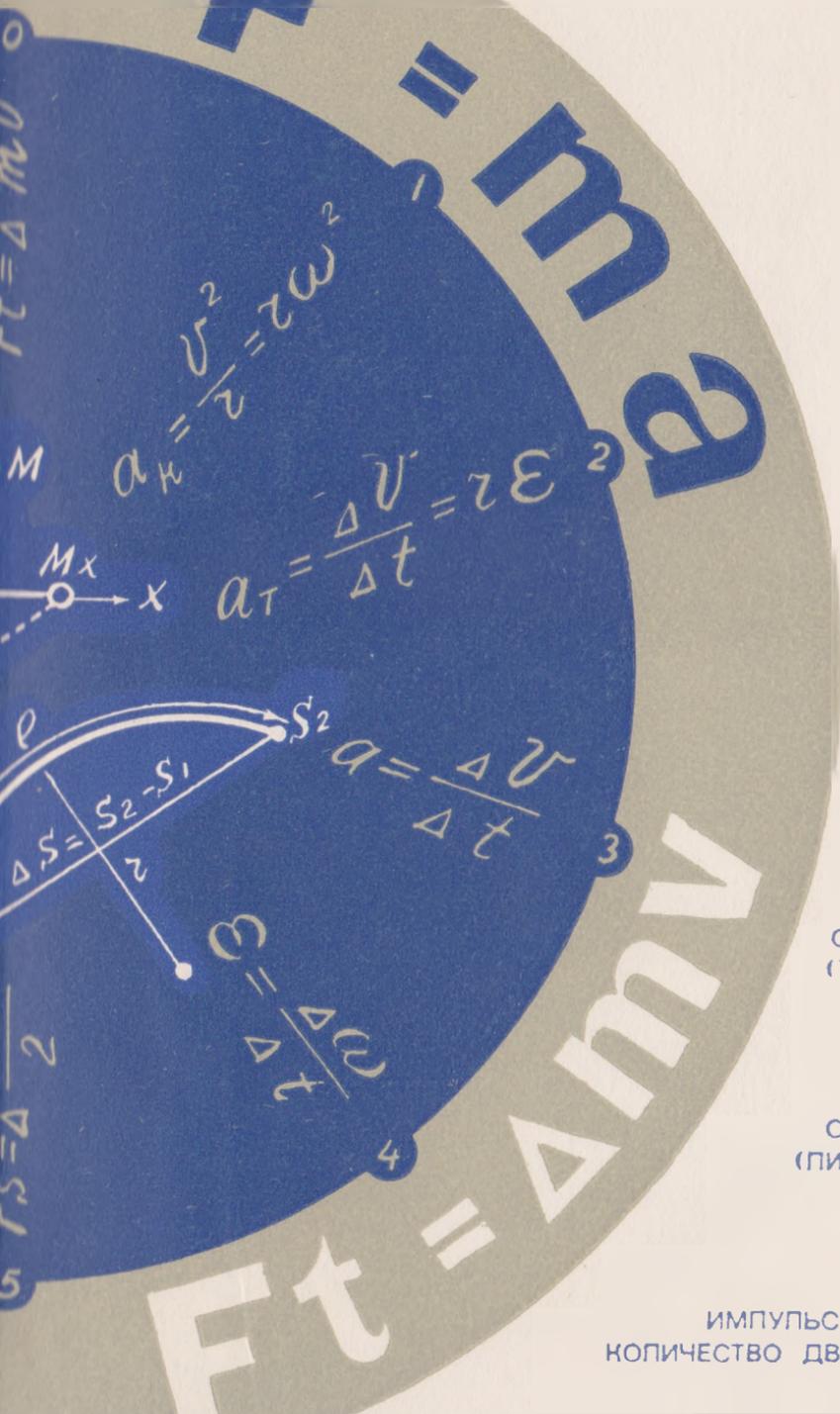
$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

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

$J = mR^2$ ин

$F_{гб} - F_{торм} = F_{уск} = ma$

МОМЕНТ
ИНЕРЦИИ



СКОРОСТЬ
(УГЛОВАЯ)

СКОРОСТЬ
(ЛИНЕЙНАЯ)

ИМПУЛЬС СИЛЫ =
КОЛИЧЕСТВО ДВИЖЕНИЯ

5А2.2
Д67

Донской Д. Д.

Д67 Биомеханика. Учеб. пособие для студентов фак. физ. воспитания пед. ин-тов. М., «Просвещение», 1975.

239 с. с ил.

Учебное пособие написано в соответствии с программой для факультетов физического воспитания педагогических институтов. В первой части книги («Общая биомеханика») рассматриваются предмет и методы биомеханики, двигательный аппарат человека как биомеханическая система, характеристики движений человека, системы движений в физических упражнениях и их структура. Во второй части книги («Биомеханика физических упражнений») рассматривается биодинамика физических упражнений, включенных в программу общеобразовательной школы.

Д $\frac{60602-500}{103(03)-75}$ 70-75

5А2.2

© Издательство «Просвещение», 1975 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс биомеханики на факультетах физического воспитания педагогических институтов имеет целью ознакомить студентов с общими основами биомеханики как науки о движениях человека и дать необходимые сведения по биомеханическому обоснованию физических упражнений. В результате изучения этого курса будущий специалист по физическому воспитанию должен овладеть знаниями и навыками, которые необходимы для правильного применения физических упражнений как средства физического воспитания.

Биомеханический анализ физических упражнений представляет собой не только конкретный метод изучения движений. Это и особый способ мышления, понимания сложности процессов механического движения человека, их совершенства, которое выработано в процессе эволюции; это способ раскрытия целесообразности в физике живого. При прохождении курса биомеханики необходимо решать, кроме образовательных, одновременно и воспитательные задачи, используя для формирования диалектико-материалистического мировоззрения студентов изучение движений человека как одной из форм движения материи.

При построении курса в пособии использован опыт преподавания биомеханики в институтах физической культуры. В качестве теоретической основы курса приняты основные положения отечественной школы биомеханики, созданной трудами Н. А. Бернштейна. Эти положения развиваются, в частности, в области физического воспитания как теория структурности движений (Х. Х. Гросс, В. М. Дьячков, В. Б. Коренберг, В. Т. Назаров, И. П. Ратов, Д. В. Чхаидзе и др.). Системно-структурный подход в теории структурности движений заключается в изучении двигательных действий человека как целостных образований — систем, имеющих сложный состав (элементы) и структуру (их взаимосвязи).

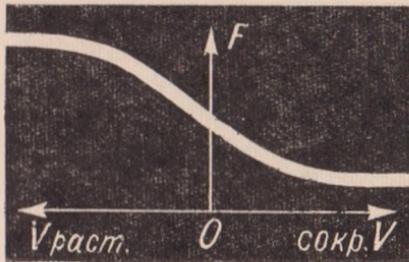
В содержании курса используются понятия и закономерности ряда смежных физико-математических, технических, биологических и педагогических наук (механика твердого тела, теория упругости, аэрогидромеханика, теория механизмов и машин, кибернетика, анатомия, физиология, педагогика, теория и методика физического воспитания, теория и методика частных спортивных дисциплин).

Исходя из того, что студенты должны владеть знаниями в объеме средней школы, в курсе биомеханики материалы по механике рассматриваются только в последовательности, требуемой данным курсом, без вывода теорем, в ряде случаев без специального разъяснения применяемых понятий и законов. Термины механики даны по «Терминологии общей механики», разработанной Комитетом научно-технической терминологии Академии наук СССР, с небольшими изменениями, вызванными спецификой курса.

Д. Донской

ОБЩАЯ БИОМЕХАНИКА

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ



В раздел общей биомеханики входят введение в курс, определяющее предмет и метод науки, изучение особенностей опорно-двигательного аппарата человека как биомеханической системы, определение биомеханических характеристик движений человека, раскрывающих особенности двигательных действий, рассмотрение состава и структур систем движений в физических упражнениях.

Задача изучения общей биомеханики — овладеть (с позиций биомеханики) знаниями *основных общих закономерностей строения двигательного аппарата и выполнения движений*. Без этих знаний невозможно изучать частные особенности биодинамики физических упражнений, которым посвящена часть II настоящего пособия.

ГЛАВА I.

ПРЕДМЕТ И МЕТОДЫ БИОМЕХАНИКИ

Начиная изучать определенную учебную дисциплину, необходимо установить, каковы ее основы: предмет и метод соответствующей науки. **Предмет** науки раскрывает, что именно и с какой целью изучается. **Метод** науки показывает пути научного исследования — получения новых знаний.

БИОМЕХАНИКА КАК НАУКА О ДВИЖЕНИЯХ ЧЕЛОВЕКА

Движения живых существ представляют собой очень сложное явление. В них сочетается самое простое движение — механическое, которое изучает механика, с более высокими формами движения, которые изучает химия, биология, психология и другие науки. Поэтому биомеханика, разрабатывая собственные пути изучения механического движения живых существ, использует также данные ряда смежных наук.

§ 1. Предмет биомеханики

1.1. Понятия о формах движения

Движение как форма существования материи так же многообразно, как многообразен мир.

В восходящем развитии материи формировались все более высокие уровни ее организации (структурные уровни материи). Для них характерны соответственно все более сложные формы движения, все более сложные свойства и закономерности.

Ф. Энгельс различал более простые формы движения материи — механическую, физическую и химическую, которые проявляются как в неживой, так и в живой природе, и более сложные, высшие формы движения — биологическую (все живое) и социальную (общественные отношения, мышление).

Каждая более сложная форма движения включает в себя и более простые. Простейшая форма — механическая — существует везде. Но чем выше форма движения, тем менее существенна механическая форма; движение качественно характеризуется соответственно более высокой формой.

Таким образом, *каждая высшая форма обладает качественной спецификой и «несводима» к низшим, в то же время она неразрывно связана с ними.*

Движения человека, которые изучаются в биомеханике, включают в себя механическое движение. Именно оно составляет непосредственную задачу двигательной деятельности человека. Но механическое движение осуществляется при определяющем участии более высоких форм движения. Поэтому биологическая механика (биомеханика) шире и намного сложнее, чем механика, она качественно отличается от физики неживых тел. Механическое движение живого получает объяснение лишь при изучении специфики живого, опираясь, разумеется, на основы механики — на классическую механику (абсолютно твердого тела).

Предмет биомеханики определяется тем, что именно, какие явления (о б ъ е к т п о з н а н и я) и какую сторону действительности (о б л а с т ь и з у ч е н и я) она изучает.

1.2. Объект познания биомеханики

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

Как наука биомеханика охватывает изучение механического движения в животных организмах, в том числе и движения человека.

Однако двигательные действия человека существенно отличаются от движений животных. В первую очередь речь идет об осознан-

ной целенаправленности движений человека, о понимании их смысла, возможности контролировать их и планомерно совершенствовать. Поэтому сходство между движениями животных и человека завершается на чисто биологическом уровне.

Поскольку овладение движениями, совершенствование движений определяют собой их эффективность, их соответствие цели двигательной деятельности, учебный курс биомеханики направлен на изучение движений только человека. Здесь необходимо учитывать и то, что в движениях обусловлено высшими уровнями сознательного управления ими. Именно эти особенности не имеют объяснения ни с позиций механики, ни с позиций биологии.

«В норме человек производит не просто движения, а всегда действия» (Н. А. Бернштейн). Действия человека всегда имеют цель, определенный смысл. Из действий человека складывается его двигательная деятельность. При помощи этой деятельности в процессе физического воспитания человек преобразует свою собственную природу, физически совершенствуется. Человек преобразует мир, используя возможности научно-технического прогресса в конечном счете посредством двигательной деятельности.

Двигательные действия, составляющие двигательную деятельность, осуществляются посредством целенаправленных активных движений и управляемые системы движений, целостные двигательные акты (например, гимнастические упражнения, способы передвижения на лыжах, приемы игры в баскетбол и т. д.). В системы движений входит также и активное сохранение положений отдельных частей тела (в суставах), а иногда и всего тела.

В учебном курсе биомеханики объект познания составляют именно активные движения (а также сохранение положений тела). Они являются как системы движений в действиях человека.

1.1. Область изучения биомеханики

Область изучения биомеханики — механические и биологические причины возникновения движений в их единстве и особенности их исполнения в различных условиях.

Причины движений в биомеханике рассматривают с точки зрения и механики, и биологии. Эти позиции надо брать в их взаимной связи, с учетом роли человеческого сознания в управлении движением. Организованная система взаимосвязанных механических и биологических закономерностей не есть простая их сумма. Эти закономерности, вступая в сложные взаимоотношения, приводят к раскрытию биомеханической специфики живого. Причем наиболее важные особенности выявляются именно в плане управления движениями, которое обеспечивает их высокую эффективность в различных условиях исполнения.

§ 2. Задачи биомеханики

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

2.1. Общая задача изучения движений

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

Изучение движений в конечном счете имеет педагогическую направленность. Движения изучают для того, чтобы определить, от чего зависит их эффективность, в каких условиях и как лучше их исполнять. Для этого необходимо уметь оценивать их совершенство, их соответствие поставленной цели. По выражению А. А. Ухтомского, биомеханика исследует, «*каким образом полученная механическая энергия движения и напряжения может приобрести рабочее применение*»¹.

Путь оценки эффективности в принципе прост. Нужно определить силы, которые в данном движении совершают полезную работу. Далее нужно установить, какие силы производят вредную работу, снижающую эффект приложения полезных сил. Выясняют, каковы источники сил, где и когда они приложены, каков результат их действия. Сопоставляя полученные данные, можно узнать, насколько целесообразно исполняется изучаемое движение, в чем состоят его недостатки, как лучше их устранить и, главное, как совершенствовать движение.

При всей кажущейся простоте этой задачи нужно подчеркнуть, что решение ее требует не только совершенных методов регистрации движений, но и фундаментальной теории, позволяющей объяснять получаемые данные.

Оценка эффективности требует глубокого раскрытия законов движения в живых системах. Эти законы даже с точки зрения механики отличаются от законов Ньютона, по крайней мере, как живой организм отличается от абстрактной модели — абсолютно твердого тела. В этом отношении задачи изучения влияют не только на выбор области изучения, но также на метод и теорию, объясняющую закономерности данной науки.

2.2. Частные задачи биомеханики

Частные задачи биомеханики состоят в изучении и объяснении: а) самих движений человека в той или иной области его двигательной деятельности; б) движений физических объек-

¹Ухтомский А. А. Собр. соч., т. III. — «Физиология двигательного аппарата», «Биомеханика». Л., 1951.

тов, перемещаемых человеком; в) результатов решения двигательной задачи; г) условий, в которых они осуществляются; д) развития движений человека (с учетом названных сторон) в результате обучения и тренировки.

Для достижения цели двигательного действия можно найти несколько способов его исполнения. Изучая кинематику, пространственную форму и характер движений, дают их внешнее описание. Изучая динамику движений, влияние сил на их изменение, дают объяснение, находят причины особенностей движений. Таким же образом описывают и объясняют движения снарядов (мяч, шайба, ядро и т. п.), зависящие от движений человека.

Для оценки качества движений нужно изучить результат решения двигательной задачи. Он может больше или меньше соответствовать поставленным требованиям. При этом нужно не только установить само качество результата, но и дать объяснение причинам той или иной эффективности. Необходимо сопоставлять разные варианты, сложившиеся в практике, разную степень совершенства, зависящую от квалификации исполнителя, и многое другое.

Далее необходимо рассмотреть влияние условий, в которых исполняется движение, на способ действия и на результат решения двигательной задачи. Так как движения часто исполняются в переменных условиях, характер изменения последних также влияет на движения. Условия двигательной деятельности обычно разделяют на внешние и внутренние. К внешним условиям относят все факторы внешнего окружения¹, в котором движется человек. К внутренним условиям деятельности относят более общие, зависящие от длительно действующих факторов (уровень подготовленности, возрастные особенности и др.), и более частные проявления приспособления человека к конкретным условиям определенного действия (степень вработывания, утомление и др.). С одной стороны, здесь выявляют, какие условия благоприятствуют эффективности, иначе говоря, *какие нужно создавать условия*. С другой стороны, определяют, *как лучше приспособиться к данным условиям*, как их использовать.

Наконец, как правило, для понимания изучаемого состояния или процесса надо узнать его историю, рассмотреть явление в его развитии. Тут нужно не только раскрыть уже пройденные этапы, но и предвидеть, прогнозировать будущее. Без предвидения невозможно обоснованное планирование деятельности, а именно оно (в самом общем плане) отличает человека от животных. Поэтому на основе описания и объяснения движений необходимо указать путь их совершенствования: *не только изучать действительность, но и преобразовывать ее*.

¹ «Внешним окружением» в движениях называют все физические объекты, с которыми взаимодействует человек: и живые (партнеры, противники), и неживые (опора, снаряды, среда и т. п.).

Постановка общей задачи, раскрытие ее через ряд частных задач повышает целенаправленность изучения движений, выдвигает конкретные требования к разработке теории и метода биомеханики, дает возможность рационализации физических упражнений и путей овладения ими.

§ 3. Содержание биомеханики

Биомеханика, как и каждая наука, характеризуется совокупностью накопленных знаний; они формируются в определенную систему — теорию биомеханики. Вместе с тем разрабатываются пути получения знания — метод биомеханики. Теория и метод выражаются понятиями биомеханики и законами, которые и раскрывают содержание биомеханики.

3.1. Теория биомеханики

Современная теория биомеханики имеет в своей основе системно-структурный подход к рассмотрению явлений и процессов (как конкретизацию диалектико-материалистического понимания): субстрата движений (тело человека), самих процессов движения (двигательные действия) и их развития.

Материалистическая диалектика рассматривает весь мир как некую систему, которой свойственна определенная связь тел и процессов. *Системно-структурный подход представляет собой принцип научного познания целостности сложных объектов и процессов (систем), исходя из взаимодействия элементов (структура систем), из которых они состоят* (см. гл. IV).

Целостный подход к предметам изучения направлен против метафизического расчленения целого без учета взаимодействия элементов. Он направлен и против механического сведения качественно более сложных явлений к их более простым составляющим, не исчерпывающим данное целое. Системно-структурный подход позволяет разрабатывать теорию структурности движений.

Закономерности движений во многом зависят от особенностей строения и функций организма. Для изучения двигательных действий опорно-двигательный аппарат рассматривают как биомеханическую систему. Это своего рода упрощенная модель, учитывающая особенности, наиболее существенные для движений. Этот раздел теории биомеханики начал развиваться сравнительно недавно.

Для теории биомеханики большое значение имеет рассмотрение движений человека как систем движений. В этом разделе теории изучаются особенности движений и их взаимосвязи, влияющие на эффективность двигательных действий.

В процессе обучения двигательным действиям происходит изменение движений, перестройка их систем, возникают

новые их особенности. Закономерности формирования и совершенствования движений составляют содержание следующего, третьего раздела теории биомеханики.

Во втором и третьем разделах особое внимание уделяется управлению движениями человека. Закономерности управления движениями накладывают особый отпечаток на сами движения. Только человек, в отличие от всех других существ может активно познавать законы природы и правильно их применять, управляя движениями.

1.1. Метод биомеханики

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

Метод биомеханики — это способ исследования, путь познания закономерностей в биомеханике. Теория биомеханики дает обоснование ее методу; метод же определяет возможности получения новых данных, раскрытия новых закономерностей.

Рассматривая сложное двигательное действие как систему движений, необходимо мысленно выделить в этой системе ее составные элементы, установить ее состав. Для этого используют количественные характеристики (см. гл. III), которые позволяют различать движения, отличать одно движение, элемент, деталь от других. Чтобы установить состав системы, используют системный анализ, т. е. расчленение системы на составные части.

В понятие системы входит ее структура как закон взаимодействия элементов в системе. Изучая изменения количественных характеристик, устанавливают этот закон, выявляют, как элементы влияют друг на друга. Для выявления структуры системы используют системный синтез — выявление причин целостности системы.

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

Количественные характеристики движений позволяют на уровне высшего системного синтеза строить модели системы движений (физические, математические). Используя вычислительную технику, начинают изучать процессы управления в движениях, искать оптимальные варианты действий. Здесь речь идет о принципах и результатах, а не конкретных механизмах, что уже относится к физиологии.

Закономерности, устанавливаемые при изучении движений, имеют статистический (вероятностный) характер. Такие

законы характерны для живых организмов. Их вероятностный характер обусловлен зависимостью следствий от многих, не определенных полностью причин.¹

§ 4. Развитие биомеханики как науки

Возникновению и развитию биомеханики как самостоятельной науки способствовали определенные предпосылки — накопление знаний в области физических и биологических наук, а также развитие техники, позволившее разработать ряд сложных методик изучения движений.

4.1. Начальное развитие биомеханики

На возникновение биомеханики как науки о движениях животных оказало решающее влияние развитие механики. Классическая механика описывает движения материальной точки и абстрактного абсолютно твердого тела. На ее основе разрабатывалось и учение о движении абсолютно упругого тела. Необходимо обратить внимание на то обстоятельство, что здесь имеет место условность. Таких объектов в природе не существует — все это абстракции (отвлечение от конкретных частных), необходимые для установления основных законов. Последние позволяют при их правильном применении познать особенности движений реальных, конкретных физических объектов. Так, для биомеханики оказались применимыми развивающиеся как самостоятельные науки: гидро- и аэромеханика, сопротивление материалов, реология (теория упругости, пластичности и ползучести), теория механизмов и машин и др. Они в большей или меньшей степени используются в биомеханике, помогают изучать движения человека.

Математические науки, сыгравшие свою роль в развитии механики, в дальнейшем разрослись в самостоятельные области знаний. Их применение в биомеханике все более расширяется. Речь идет не только о математической обработке собранного материала, но и о самостоятельных математических методах исследования (в частности, о моделировании).

Д. Борелли, врач, математик, физик (ученик Г. Галилея), своей книгой «О движении животных» (1679) положил начало развитию биомеханики как отрасли науки. Из биологических наук в биомеханике более других использовались данные анатомии и выделившейся из нее (в XVI—XVII вв.) физиологии. Большое влияние на развитие биомеханики затем оказали функциональная анатомия и особенно идеи нервизма в современной физиологии. Так складыва-

¹ Когда следствие однозначно связано с причиной, одни и те же причины вызывают одни и те же следствия, то законы называют д и н а м и ч е с к и м и.

лись основные направления в развитии биомеханики — механическое, функционально-анатомическое и физиологическое, сосуществующие и поныне.

4.2. Разработка методик изучения движений

Становлению теории биомеханики предшествовал длительный период накопления фактических данных при помощи все совершенствующихся методик изучения движений.

Механические устройства прежде всего использовались для определения положения центра тяжести тела человека (Д. Борелли, А. Базлер и др.). Затем в XIX в. ряд устройств применялся при изучении ходьбы (В. и Э. Веберы, Ж. Марей и др.). Постепенно механические устройства были вытеснены более современными светохимическими и электротехническими методами.

Светохимическая регистрация включает простое фотографирование (одиночные снимки) и методы последовательного фотографирования (ряд камер Э. Майбриджа, кинография Ж. Марей, циклография В. Брауне и О. Фишера, Н. А. Бернштейна, стробофотография и др.). Эти методы дают возможность зафиксировать позы в определенные моменты времени и благодаря этому измерить координаты точек. Зная частоту киносъемки, определяют скорости, ускорения, темп, ритм, рассчитывают усилия и многие другие характеристики.

Электротехническая аппаратура обладает очень большими возможностями. Она позволяет одновременно регистрировать множество кинематических, динамических и электрофизиологических характеристик. Многоканальная запись ряда характеристик обеспечивает их совмещение во времени — синхронизацию. Все шире используется подключение вычислительных устройств, что обеспечивает одновременную с регистрацией данных и их математическую обработку, телерегистрация характеристик, видеозапись и др.

Комплексное применение фотографических и электротехнических методик регистрации с автоматической обработкой данных характеризует собой современный этап технического оснащения биомеханических исследований.

4.3. Становление теории биомеханики

Основные направления в биомеханике возникали одно за другим и далее продолжали развиваться одновременно. В механическом направлении заложены основные идеи об изменении движений под действием приложенных сил и о применимости законов механики к движениям животных; в функционально-анатомическом — идея о единстве и взаимообусловленности формы и функции в живом организме; в физиологическом — идея системности функций организма, идея энергетического обеспечения и идея нервизма

(раскрывающая значение процессов управления движениями в двигательной деятельности).

Механическое направление, начатое работами Д. Борелли, развитое В. Брауне и О. Фишером, представлено сейчас в работах многих зарубежных школ (ГДР, ЧССР, США и др.). Механический подход к изучению движений человека позволяет определить количественную меру двигательных процессов. Это одна из основ биомеханики (измерение показателей двигательной функции). На этой основе совершенно необходимо объяснение физической сущности механических явлений. С точки зрения физики раскрывается строение опорно-двигательного аппарата и движения человека. В этом отношении механическое направление никогда не потеряет своего значения.

Однако чисто механический подход создаст почву для неоправданных упрощений, что часто приводит к неправильным выводам. Кроме того, является опасностью недооценки качественной специфики физики живого. Возникают механистические тенденции объяснения качественно более высоких явлений простейшими механическими факторами.

Не случайно это направление не породило ни одной глубокой теории, объясняющей двигательную деятельность человека. Неправильная трактовка биомеханики как «прикладной к живому» механики (т. е. технической науки) исключает возможность познать действительную сложность движений человека и целенаправленно совершенствовать ее. Применение законов механики материальной точки и абсолютно твердого тела к изучению движений человека, конечно, необходимо, но недостаточно. Так же как тело человека отличается от абстрактных тел, так и законы его движений требуют учета этих отличий, но не в общих декларативных оговорках, а в конкретном анализе. Для биомеханического анализа особый интерес представляют внутренние (в том числе мышечные) силы, в то время как в задачах классической механики их стараются исключить. В двигательном аппарате существенно важно определить источники, роль и эффективность каждой силы, в то время как в механике один из основных методов — замена системы сил эквивалентными векторами сил и моментов сил.

Наряду с механическими причинами особой сложности движений животных существуют немеханические причины, которые играют еще большую роль. Именно эти причины представители данного направления обычно не рассматривают.

Функционально-анатомическое направление, созданное в нашей стране трудами П. Ф. Лесгафта, М. Ф. Иваницкого, характеризуется преимущественно описательным анализом движений в суставах, определением участия мышц при сохранении положений тела в его движениях. В анатомических исследованиях движений обычно использовались качественные характеристики при относительно малом применении количественной меры. Однако сейчас все шире применяется регистрация электрической активности мышц (электромиография), дающая ценный вклад в определение времени и степени участия мышц в движениях, согласования активности отдельных и групп мышц.

Новое направление в функциональной анатомии — спортивная морфология (А. А. Гладышева) — способствует познанию специфических особенностей опорно-двигательного аппарата человека в связи с занятиями спортом.

Конкретизация знаний о морфологических основах биомеханических систем обеспечивает более глубокое и правильное определение физической и технической подготовки в физическом воспитании, в частности в спорте.

Физиологическое направление в отечественной школе биомеханики складывалось под влиянием идей нервизма и в результате развития учения о высшей нервной деятельности и нейрофизиологии. Признание рефлекторной природы двигательных действий и механизмов нервной регуляции при взаимодействии организма и среды в работах И. М. Сеченова, И. П. Павлова, А. А. Ухтомского, П. К. Анохина, Н. А. Бернштейна и других ученых составляет физиологическую основу изучения движений человека.

Обширные исследования регуляторных механизмов центральной нервной системы и перво-мышечного аппарата дают представление об исключительной сложности и совершенстве процессов управления движениями. Однако, несмотря на разностороннее изучение этой проблемы, единая, относительно завершенная физиологическая теория управления движениями еще не сформирована.

Исследования Н. А. Бернштейна дали ему возможность установить чрезвычайно важный принцип управления движениями, общепризнанный в настоящее время. Управление движениями осуществляется посредством приспособления импульсов (команд) нервной системы по ходу движения к конкретным условиям его выполнения и устранения отклонений от задачи движений (коррекции). Идеи И. М. Сеченова о рефлекторной природе управления движениями путем использования чувствительных сигналов получили развитие в положении Н. А. Бернштейна о кольцевом характере процессов управления. Нейрофизиологические концепции Н. А. Бернштейна стали основой современной теории биомеханики.

Системно-структурный подход как методологическая основа в известной мере объединяет механическое, функционально-анатомическое и физиологическое направления в развитии теории биомеханики.

Существо этого подхода заключается в изучении явлений как целостных сложных объектов (системы). Понятие о системе (целом), в которой множество элементов (ее состав) закономерно объединено взаимными связями, взаимозависимостью (ее структура), стало общепризнанным в современной науке. В биомеханике этот подход проявляется в изучении тела человека и его движений как сложных систем (см. гл. II и IV).

Идеи о системности внес в изучение двигательной деятельности также Н. А. Бернштейн. Таким образом, *современная отечественная школа биомеханики развивает теорию движений, разрабатывающуюся в ряде направлений и объединенную на основе исследований и теоретических положений Н. А. Бернштейна.*

Биомеханика физических упражнений — частный раздел биомеханики, особенно важный для естественнонаучного обоснования физического воспитания. Крупнейший русский анатом П. Ф. Лесгафт, создавая теоретическую анатомию, применял ее данные для обоснования разработанной им отечественной системы физического воспитания. В исследованиях П. Ф. Лесгафта были заложены основы предмета «теории телесных движений».

В настоящее время в педагогических институтах и институтах физической культуры нашей страны эта теория нашла свое отражение в курсе биомеханики. Во многих зарубежных странах подобные курсы имеют другое название — «кинезиология». Чаще всего их содержание ограничено изложением элементарных механических и анатомических данных и не опирается на основательно разработанную теорию движений.

4.4. Связи биомеханики с другими науками

Биомеханика как одна из биологических наук нового типа сближается по методам исследования с точными науками. Она развивается как раздел б и о ф и з и к и, возникшей на стыке физических и биологических областей знаний.

Для изучения физических упражнений необходимо раскрытие их механической и биологической природы, что относится к ведению биомеханики. В этом отношении такие биологические науки, как спортивная морфология, физиология физических упражнений, содействуют пониманию конкретных специфических особенностей формы, строения и функции тела человека.

Возможна и необходима двусторонняя связь биомеханики с другими биологическими науками в изучении и обосновании физических упражнений. Вместе с тем методы и законы биомеханики предназначены для совершенствования ряда педагогических дисциплин, разрабатывающих конкретные задачи физического воспитания. В этом смысле справедливо рассматривать биомеханику как современную область биологического знания с педагогической направленностью.

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЙ

Для изучения движений в биомеханике применяются специфические для нее (биомеханические) методы. В случае необходимости используют методы и смежных наук: биологических, психологических, педагогических, математических и др. Биомеханические методы позволяют получать количественные характеристики движений (см. гл. III) и выявлять их взаимную зависимость. Это обеспечит системный анализ, а также системный синтез движений как основной путь их изучения.

§ 5. Организация биомеханического исследования

Организация биомеханического исследования зависит от поставленных задач и выбора соответствующих им методик,

2.1. Постановка задач и выбор методик исследования

Задачи биомеханического исследования весьма многообразны. От их постановки зависит не только выбор методик, организация исследования, но и пути обработки полученных данных, направление анализа. Поставить задачи исследования — это «пустить мысль вперед прибора». Постановка задачи исследования в значительной мере определяет: 1) что изучать (какие зависимости); 2) на каком материале (объекте) исследовать; 3) в каких условиях собирать данные; 4) каким способом получать и обрабатывать их.

Методики исследования (как комплексы частных методов) выбирают, исходя из задачи исследования. Чтобы поставить конкретную задачу, нужно знать существующие методики, позволяющие ее решить, или возможность их создания. На основе поставленной задачи определяют, какие характеристики необходимо исследовать. Одни из них получают только расчетным способом как производимые от зарегистрированных основных характеристик (момент инерции, кинетическая энергия, работа, во многих случаях также скорость, ускорение и т. д.), другие (чаще пространственные, временные и силовые характеристики) — путем непосредственной регистрации.

Установив, какие характеристики надо регистрировать, определяют условия сбора данных (естественные, специально созданные для эксперимента и др.).

Наблюдения в естественных условиях тренировки и соревнований проводят так, чтобы они не служили помехой движениям спортсмена. Наблюдатель может пользоваться измерительными приборами (рулетка, секундомер, оптические системы наблюдения) и фото- и киноаппаратурой. Основное условие зрительного или инструментального наблюдения — получение объективных данных, что требует невмешательства в естественный ход движений.

При проведении эксперимента (научного опыта) создаются специальные условия, в которых решаются поставленные в исследовании задачи. Можно провести естественный эксперимент, в котором испытуемые будут находиться в строго определенных условиях и при этом будет обеспечено наименьшее вмешательство в его движения. При этом спортсмены, оснащенные сложной аппаратурой, могут показать даже высокий результат.

В настоящее время широко применяют лабораторный эксперимент (модельный), начиная от изучения закономерностей в измененных в том-то и чем-то существенно сходных движениях и кончая построением математической модели движения и анализом ее особенностей. Математическое моделирование движений человека становится самостоятельным методом выявления сложных зависимостей. Обработка зарегистрированных данных в движениях проводится главным образом математическими методами.

Современные комплексные методики включают ряд методов регистрации и обработки данных, взаимно дополняющих, а иногда и дублирующих (для проверки) друг друга.

Тот или иной метод исследования выбирают, исходя из того, насколько он обеспечивает получение достоверных и доступных данных. Необходимо, чтобы такой метод: а) обеспечивал достаточную

точность измерений; б) не искажал движений, т. е. не обременял бы испытуемого; в) был надежным и удобным для применения; г) мог применяться в условиях проведения наблюдений или эксперимента; д) давал материал в форме, удобной для обработки; е) был совместим с другими необходимыми методами и по всем названным показателям соответствовал задаче исследования.

5.2. Этапы организации исследования

В биомеханическом исследовании условно различают три этапа: 1) регистрация данных (характеристик); 2) обработка результатов регистрации; 3) биомеханический анализ.

Регистрация характеристик движений человека и движимых им тел имеет целью получение количественных данных об исследуемом действии, условиях его выполнения, его результате, а также о самом спортсмене. Регистрируются как механические характеристики движений и окружающих условий (кинематические и динамические), так и характеристики самого спортсмена (например, размеры тела, функциональные показатели). Обычно регистрируются не одиночные характеристики, а их совокупность, для чего применяется не один, а комплекс методов (методика).

Обработка данных (результатов регистрации) позволяет получить новые данные, которые не были прямо зарегистрированы (например, рассчитать скорости по данным пути и времени). Математическая обработка дает возможность установить зависимости между различными факторами, определить их достоверность. Наконец, в результате обработки данные получают новый вид (таблицы и графики), удобный для анализа, наглядный при использовании в практике.

Биомеханический анализ направлен на установление характерных закономерностей, поиски которых были определены в задачах исследования, и на обоснование выводов и рекомендаций. Поиски закономерностей по традиции называют «анализом». Однако, как известно, анализ тесно связан с синтезом: расчленение целого на части обязательно дополняется объединением частей в целое. Следовательно, биомеханический анализ включает в себя и синтез.

Перечисленные этапы исследования не всегда строго следуют друг за другом. Уже при выборе способа регистрации начинается предварительный биомеханический анализ. В процессе регистрации характеристик исследователь по мере накопления данных ищет зависимости. Наконец, ход обработки наталкивает на новые мысли и сам направляется данными предварительного анализа. Поэтому деление на этапы условно. Оно заставляет заранее обдумать ход исследования, получив первые данные, проверить, поддаются ли они обработке, а в ходе обработки внимательно разбирать ее результаты.

4 6. Регистрация характеристик движений

Регистрация характеристик завершает путь сигнала от движущегося спортсмена или другого объекта до пункта фиксации (на бумаге, пленке, экране и т. п.).

Этот путь начинается приемом сигнала посредством датчика. Происходит преобразование сигнала, который несут с собой движение, напряжение или другие физические процессы. При кодировании изменяется носитель сигнала. Далее следует передача сигнала на расстояние, возможны и дальнейшие преобразования сигнала (усиление, перекодирование) до поступления в регистрирующее устройство. Здесь сигнал вновь перекодирован и принимает характер процесса, оставляющего те или иные «следы» (з а п и с ь). Количество пунктов преобразования (включая прием и регистрацию) бывает различным. Передача может быть механической, оптической, звуковой, электрической (по проводам, электромагнитная) и др. В конце передачи на приборе бывает возможна и н д и к а ц и я сигнала¹, позволяющая зрительно наблюдать его, индикация сигнала с одновременной его регистрацией или только одна регистрация. Все эти варианты сходны, если рассматривать индикацию (наблюдение за стрелкой, лучом и т. п.) как и е ф и к с и р у е м у ю р е г и с т р а ц и ю.

В последние годы широкое распространение в исследованиях получили устройства, преобразующие неэлектрические сигналы в электрические, которые передаются по проводам или радиопередатчиком и после усиления подаются на осциллограф².

4.1. Регистрация кинематических характеристик

Пространственные характеристики (координаты, траектории) можно измерять, а результаты измерения записывать по ходу исполнения движения как непрерывно, так и в отдельные моменты времени — д и с к р е т н о³. Определение этих характеристик сводится к измерению расстояний (в линейных и угловых единицах отсчета).

Измерение расстояний производится как непосредственным путем, так и за мерами на уменьшенных (масштабно) изображениях (материалы фоторегистрации).

Непосредственные измерения. В спортивной практике измеряются как размеры мест соревнований (общие размеры и разметка), так и результаты спортивных выступлений (например, высота, длина в прыжках, дальность метаний и др.). Для этого применяют рулетки, измерительные тросы, оптические визиры, механические дистанциометры (колесо со счетчиком), циркули-

¹ Индикатор (*лат.*) — указатель.

² Осциллограф — прибор для наблюдения или записи по времени изменения напряжения тока, который в электронно-лучевой трубке отклоняет катодный луч. Наиболее распространены осциллографы Н-102 (модификация МПО-2), Н-700.

³ Дискретно (*лат.*) — не соответствующий истине. В данном случае прерывистая фиксация непрерывного движения.

измерители и др. Углы наклона на местности измеряют эклиметром (угломером).

Результат движений определяют, например, при помощи измерителя прыгучести (В. М. Абалакова), мишеней для попадания футбольным или теннисным мячом. Вдоль дорожки расставляют на равных расстояниях ориентиры для зрительного или автоматического (фотоэлемента) измерения времени прохождения определенных отрезков (например, для определения скорости лидирования звуковым сигналом). Все перечисленные методы измерения расстояний в принципе просты и не требуют подробных пояснений.

Углы в суставах измеряют гониометрами разных систем. Наиболее удобна электрогониография — непрерывное измерение суставного угла. При сближении или отдалении двух ветвей гониографа (соединенных по оси сустава) изменяется электрическое сопротивление, а изменение тока фиксируется на ленте (пленке) осциллографа. При использовании системы электрогониографов можно получить записи одновременных изменений ряда суставных углов в разных плоскостях (рис. 1, а).

Фоторегистрация применяется в виде однократных и многократных экспозиций.

При однократной экспозиции (фото- или киноаппаратом) получается одиночный фотоснимок (фотография), на котором, например, запечатлены положение, поза человека в данный момент. Если прикрепить к телу (на проекциях центров суставов, в рабочей точке, в других выбранных опознавательных точках) светящиеся лампочки накаливания и держать затвор аппарата открытым в течение всего движения, то на негативе получаются непрерывные траектории точек (фотограмма, рис. 1, б). В затемненном помещении фотограмма будет более ясной. Вместо лампочек можно использовать маленькие зеркала, отражающие яркий луч

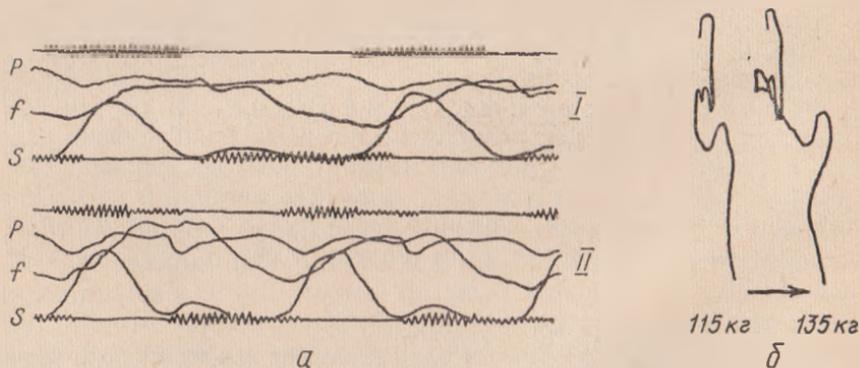


Рис. 1. Регистрация пространственных характеристик: а — электрогониограммы тазобедренного (I), коленного (S) и голеностопного (P) суставов при ходьбе в разном темпе (по Я. Л. Славуцкому и Н. В. Баскаковой); б — фотограммы поднимания штанги разного веса (по В. В. Михайлову)

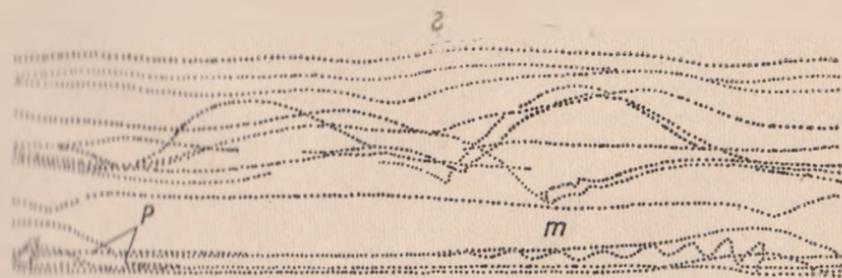
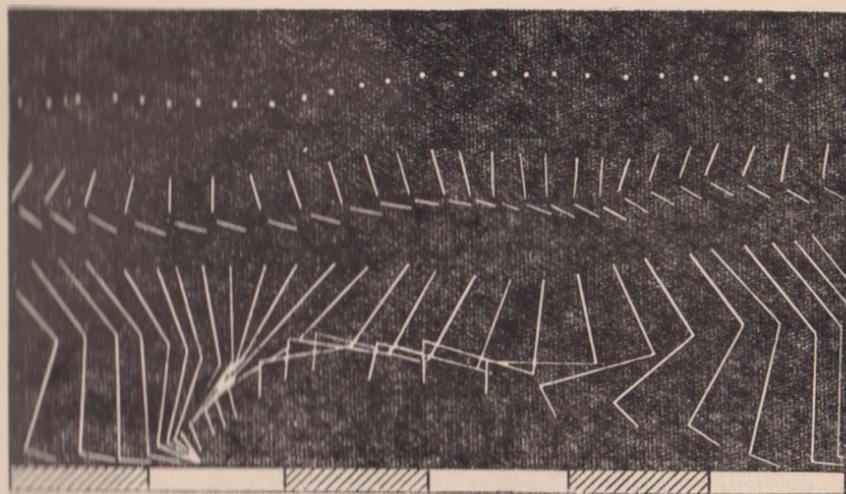
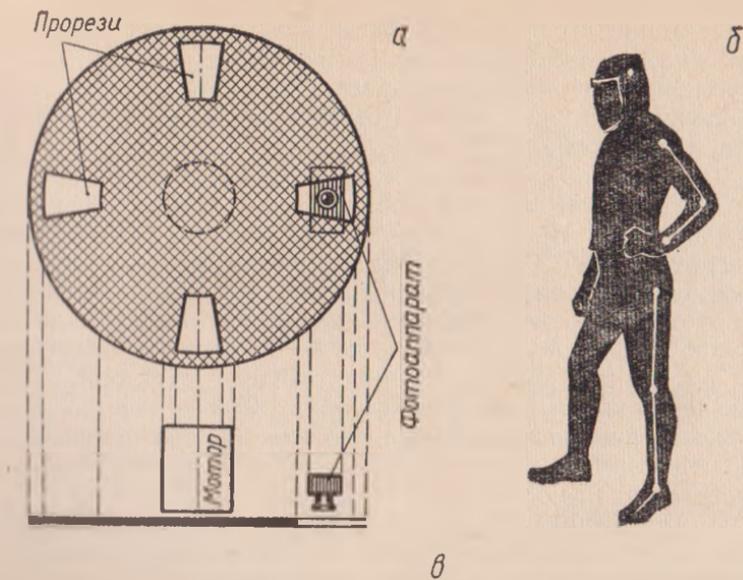


Рис. 2. Светохимическая регистрация движений: а — обтюратор; б — костюм для хронофотографии (по Маркю); в — хронофотограмма бега (по Маркю); з — циклограмма лыжного хода

света (тогда затемнения не нужно). Фотограмма позволяет зафиксировать проекции траекторий точек на плоскость, перпендикулярную оптической оси объектива аппарата. Но определить, в какой момент времени движущаяся точка была в том или ином пункте траектории, невозможно.

При многократной экспозиции можно получить на одном негативе двойной (тройной и т. д.) фотоснимок (несколько положений). Используя обтюратор (рис. 2, а), получают хронофотограмму (рис. 2, б, в) — ряд изображений через одинаковые промежутки времени на одной и той же пленке (или пластинке). Если фотографировать человека, оснащенного светящимися лампочками с применением обтюратора, то на негативе получится *циклограмма*¹ (рис. 2, г) — ряд точечных траекторий. Расстояния между точками каждой траектории соответствуют перемещению точки за равные промежутки времени. Наконец, прерывая луч света, падающий на объект съемки, можно также получить на одном негативе ряд поз освещенного человека — *строботопотрамм* у. Последний способ позволяет регистрировать позы, как на хронограмме, но с большей частотой (сотни и тысячи герц) при значительной точности временных промежутков.

Нередко применяется двусторонняя циклография (двумя аппаратами). Такие же данные получают при помощи зеркальной цикло съемки — прямые и отраженные траектории (как съемка из двух пунктов).

Кинорегистрация (киносъемка), как известно, производится путем экспозиции на последовательные участки перемещающейся кинопленки (кинокадры). При всех видах киносъемки первичным материалом регистрации является кинопленка (негативная или позитивная). В дальнейшем она может быть использована для демонстрации на экране с применением нормальной, ускоренной или замедленной проекции кинокадров. Ускоренную съемку (рапид) используют для получения ряда характеристик путем более точных измерений и расчетов. На каждом кадре фиксируется лишь одно положение, по которому можно определить позу и координаты точек тела в соответствующий момент. Возможна одновременная киносъемка двумя и тремя киноаппаратами, позволяющая получить изображения проекций движений и поз соответственно на две или три взаимно перпендикулярные плоскости, т. е. получить информацию о перемещении звеньев тела во всех трех измерениях.

Условия фотокинорегистрации. При всех видах съемок требуется предварительная разработка схемы расположения аппаратуры относительно места движения, *маркировка* (разметка) поля и объекта съемки. Следует предусмотреть условия освещения.

¹ В теории механизмов и машин *циклограмма* — это график расположения во времени элементарных операций в течение одного повторяющегося цикла.

Оптическую ось объектива аппарата располагают перпендикулярно плоскости снимаемого движения. Удаление на большое расстояние с использованием длиннофокусной оптики (телеобъектив) позволяет уменьшить перспективное искажение. Выбирая место для съемки, учитывают, на каком фоне получится изображение и в каком масштабе.

Для получения точного масштаба фотографируют масштабную линейку, помещенную в плоскости движения. Для дальнейшей обработки необходимо поместить в поле съемки вертикальный (или горизонтальный) ориентир. Параллельно плоскости движения может устанавливаться пространственная разметка (с учетом отдаления ее от плоскости движения). Для последующей обработки на поверхности тела, на костюме отмечают пункты отсчета — прикрепляются или рисуются метки (например, крестики). Метки располагают, например, на проекции оси сустава на поверхность тела. Следует только постоянно учитывать, что при ряде движений (вследствие поворота звена) пункт отсчета смещается относительно оси сустава, что искажает данные на десятки миллиметров. В этом заключается самая большая принципиальная трудность точного определения пространственных координат осей и центров суставов.

В соответствии с условиями освещения места съемки и скоростью снимаемого движения определяют, какими должны быть относительное отверстие объектива, чувствительность пленки и экспозиции. При быстрых движениях необходима меньшая экспозиция (чтобы не смазывалось изображение) и большая частота съемки (для большей точности последующих расчетов). При циклосъемке уменьшают освещенность помещения, чтобы ярче выделялись лампочки. В случае недостаточной освещенности при киносъемке применяют осветительные приборы (мощные лампы с отражателями).

Временные характеристики (момент времени, длительность движения, темп и ритм движений) можно измерять и фиксировать, отмечая нужные моменты времени и определяя соответствующие его промежутки.

Для измерения времени в спортивной практике применяют механические секундомеры (цена наименьшего деления $0,1 \text{ сек}$). Они дают большие погрешности за счет времени реакции хронометристов при пуске и остановке секундомера. Существуют устройства для автоматического пуска и остановки секундомера, значительно снижающие погрешность «реакции». Более точны электросекундомеры, которые, имея малую цену деления ($0,01 \text{ сек}$), включаются и выключаются автоматически. При работе с киноматериалами о промежутках времени судят по частоте съемки (длительность межкадрового промежутка времени — величина, обратная частоте). Если частота съемки недостаточно стабильна, то в поле видокадра снимают точный электросекундомер.

Для отметки времени на ленте, на которой регистрируются те или иные характеристики, применяют хронографы. Отметки времени можно получить на циклограмме и стробосфотограмме (по частоте съемки), а также на осциллографической записи.

Пространственно-временные характеристики (скорости и ускорения) можно измерять и рассчитывать. Непосредственной регистрацией скорости пользуются редко. В исследованиях для практических целей удобен спидограф В. М. Абалакова: капроновую нить (длиной до 200 м) движущийся спортсмен сматывает с барабана тахометра, который производит запись кривой скорости.

Для регистрации ускорений применяют датчики, позволяющие фиксировать ускорение (в одном, двух или трех направлениях). Сигнал от датчика через усилитель поступает на осциллограф.

До последнего времени скорости и ускорения определялись преимущественно расчетным путем по координатам точек и временным интервалам. Непосредственная регистрация скоростей и ускорений в сложных движениях встречает технические трудности, но применяется все успешнее. В настоящее время используют также дифференцирующие устройства, которые одновременно с регистрацией перемещений дают запись рассчитанных по ним скоростей и ускорений.

6.2. Регистрация динамических характеристик

Регистрация динамических характеристик может проводиться до или после движений спортсмена (например, определение массы тела, его момента инерции, силы мышц и др.) и во время движений (например, сила взаимодействия с опорой).

Инерционные характеристики (масса, момент инерции) обычно непосредственно не регистрируются. Определяются данными, по которым рассчитывают эти характеристики.

Масса тела (m) определяется взвешиванием. Зная по весу тела его силу тяжести (G) и ускорение свободного падения тела (g), определяют массу: $m = \frac{G}{g}$.

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 трехугольной платформе (рис. 3) 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.

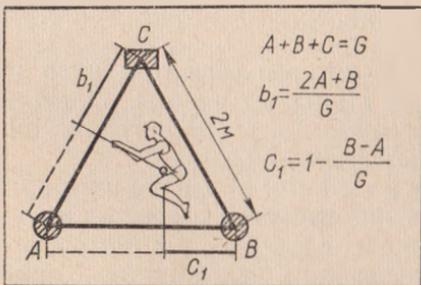


Рис. 3. Определение положения ОЦТ тела человека взвешиванием на платформе (по Г. Хохмуту)

Опытное определение выполняют и на моделях. Модель Абалакова — 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. 4, 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

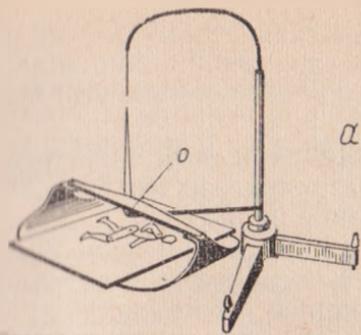
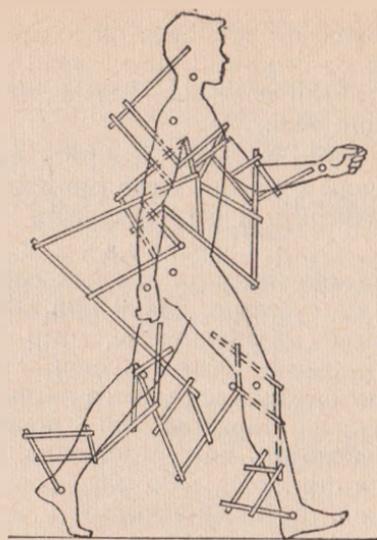


Рис. 4. Определение положения ОЦТ тела человека: *а* — по модели И. М. Абалакова; *б* — по модели О. Фишера

прокалывают лист бумаги в точке расположения ОЦТ.

Можно также применить шарнирную модель О. Фишера, которая позволяет определить положение ОЦТ в передне-задней плоскости (рис. 4, *б*.)



б

Распределение масс в теле человека характеризуется также моментом инерции относительно избранной оси (см. 21.3)¹. На качелях (рис. 5, *а*) или на пружинном вращающемся столе (рис. 5, *б*) помещают человека в заданной позе. Определив расстояние ОЦТ его тела до оси вращения

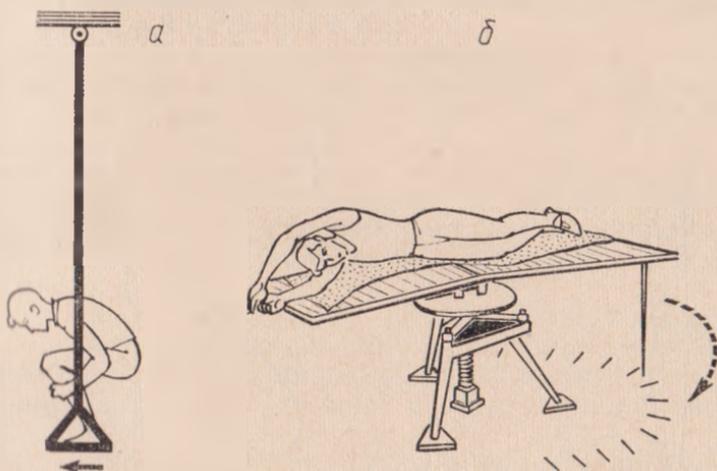


Рис. 5. Определение момента инерции тела человека: *а*—на качелях; *б*—на пружинном столе (по Г. Хохмуту)

¹ Осевой момент инерции — мера инертности тела относительно определенной оси для случая вращательного движения.

придают установке колебательные движения и регистрируют период одного качания. Зная момент инерции самой установки, массу тела человека и период качаний, можно рассчитать момент инерции тела.

Можно либо измерять силовые характеристики, регистрируя силы в течение всего движения, получая текущее их значение, либо измерять и регистрировать максимальные их значения.

Силу действия человека (на определенный объект) можно измерять как при работе групп мышц одного или нескольких суставов, так и при общей совместной работе многих групп мышц (отталкивание, удар боксера и др.). Когда под действием человека деформируется пружина или пластина (платформа), деформация передается на индикатор стрелочного типа с предварительно тарированной шкалой. Показания индикатора можно наблюдать непосредственно, отмечая максимум останавливающейся стрелкой, либо фиксировать фотографированием или киносъемкой, а также передавать на записывающее устройство (динамография).

Для измерения моментов силы ряда групп мышц в суставах применяют метод полидинамометрии. По показаниям динамометра максимальную силу тяги измеряют на петле, размещенной на конце звена при суставном угле, равном 90° (рис. 6, а).

Эта сила тяги (S) меньше равнодействующей тяги всех мышц (F_M) в суставе в k раз. Здесь k — коэффициент, равный отношению плеч силы тяги на петле (Y) и равнодействующей мышечной тяги (Y_1):

$$S = \frac{Y_1}{Y} F_M = k F_M.$$

Чтобы сравнить силу групп мышц у разных людей, определяют отношение так называемой «абсолютной силы группы мышц»

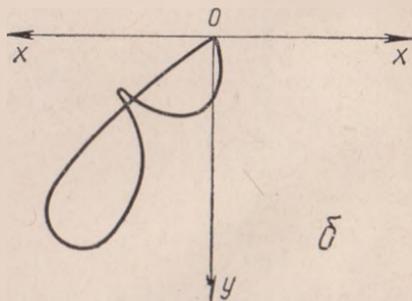
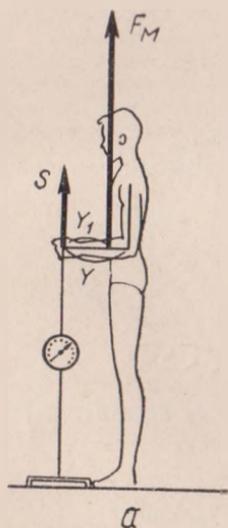


Рис. 6. Динамометрия: а — полидинамометрия (по В. М. Абалакову); б — вектординамограмма отталкивания при прыжке (по И. П. Ратову)

(S) к весу спортсмена. Это отношение называют «относительной силой группы мышц».

Измерение силы обычными кистевым и становым динамометрами основано на изложенном принципе, но из-за больших погрешностей этих динамометров применение их для научных исследований не рекомендуется.

Метод электрической тензометрии основан на изменении электрических свойств датчиков (тензодатчики), наклеенных на деформируемые спортсменом части снарядов (гриф штанги или перекладины, рукоять весла, ручка теннисной ракетки и т. п.) или на измерительные устройства (стальные кольца, пластины и др.). Тензометрические платформы получили широкое распространение для регистрации силы отталкивания в прыжках, ходьбе, беге, метаниях, борьбе и многих других видах спорта.

Метод вектординамографии основан на электротензометрической регистрации взаимно перпендикулярных составляющих деформации платформы (или другого объекта). Электрические сигналы, пропорциональные соответствующим усилиям человека, приложенным к платформе, воздействуют на электронный луч векторэлектрокардиографа (ВЭКС-01). На экране электронный луч оставляет светящийся след в виде кривой, отражающей изменение обеих составляющих усилий (см. рис. 6, б). После приложения усилия делают фотоснимок светящегося экрана (фото-вектординамография). Поместив экран так, чтобы он вошел в кинокадр, получают на кинокамере позу спортсмена и положение электронного луча (точки на экране), соответствующее величине и направлению приложенных к платформе усилий (кино-вектординамография).

Метод телетензометрии основан на передаче по радио сигнала об усилиях, прилагаемых спортсменом к деформируемым элементам (например, к стелькам с тензодатчиками в обуви бегуна, лыжника).

Преимущество тензометрических методов заключается в быстроте получения информации, возможностях векторного изображения суммарных усилий. Недостатком являются большие погрешности, скрадывающие важные особенности тонкого управления движениями.

Электромиография — метод регистрации электрической активности возбужденных мышц — применяется для определения начала и окончания мышечных усилий и величины их активности, что по сути дела относится к динамическим характеристикам.

Электрические потенциалы (тысячные доли вольта) изменяются чрезвычайно быстро (тысячные доли секунды). Для их регистрации необходимо усилить сигналы в тысячи раз и подать их на безынерционный осциллограф. На фотопленке или бумажной ленте одновременно регистрируются электромиограммы ряда мышц и отметка времени (обычно до 0,02 сек); предварительно записывается

калибровочный сигнал, чтобы при дешифровке записи определить величины биопотенциалов.

По электромиограмме можно определить момент включения мышцы в активное состояние и момент прекращения активности, а по этим данным — длительность активности. Кроме того, с известным приближением можно судить о степени активности мышцы, т. е. о величине ее напряжения. Применение портативных усилителей биотоков позволяет записывать активность многих мышц в сложных условиях выполнения упражнений (прыжки с шестом, лыжные ходы, барьерный бег, плавание и др.) при высоких спортивных результатах.

6.3. Оценка погрешности измерения

Для того чтобы измерить любую характеристику, надо сопоставить ее с величиной, принятой за единицу измерения, определить, во сколько раз она больше или меньше этой единицы. Никакое измерение не может быть абсолютно точным (погрешность прибора, погрешность определения). Поэтому в задачу измерения входит не только получение результата, но и оценка его точности.

Качество результата измерения характеризует абсолютная погрешность (Δx) — разность между истинной величиной (x) и результатом ее измерения (x_n): $\Delta x = x_n - x$.

Еще более показательна относительная ошибка — отношение абсолютной ошибки к измеряемой величине (в процентах):

$$x_{\text{отн}} = \frac{\Delta x}{x} 100\%.$$

Ошибки измерений бывают: а) систематические — их величина примерно одинакова во всех измерениях одними и теми же методами и приборами; б) случайные — их величина различна (даже для измерений, выполненных одинаковым способом). Причина первых обычно однообразная (например, погрешность прибора). Вторые чаще зависят от многих причин, учесть которые невозможно. Существуют еще промахи (грубые ошибки). Они возникают от недостаточного внимания исследователя (например, ошибки при считывании показаний прибора, ошибки записи).

Некоторые систематические ошибки можно предусмотреть: внести обоснованные поправки, учесть класс точности измерительного прибора, проверить измерение той же величины другим методом. Если систематическая ошибка определяющая (больше случайной ошибки метода), то достаточно измерить величину один раз. Если определяющей является случайная ошибка, измерение производят несколько раз и проводят математическую обработку полученных результатов.

Повышение точности измерений в развитии науки приводит к новым открытиям. Так, регистрации характеристик в малых интервалах времени позволили изучить важные для спортивного результата микрофазы в академической гребле, лыжном и других видах спорта.

7. Биомеханический анализ положений и движений

Биомеханический анализ направлен на решение конкретных задач исследования путем выявления биомеханических закономерностей. В основу анализа положено представление о структурности движений в двигательном действии человека. Исходя из принципа структурности, намечается определенная последовательность описания и объяснения движений. При этом аналитическое выявление состава системы движений сочетается с синтетическим воссозданием ее структуры. Единая последовательность операций вряд ли может быть рекомендована при различных задачах исследования. Однако излагаемый ниже общий логический ход и дальнейшее использование результатов исследования могут служить основой схемы анализа в каждом конкретном случае.

7.1. Определение характеристик

По характеристикам движений судят об их выполнении. Эти характеристики регистрируют, данные регистрации обрабатывают, сопоставляют, анализируют. Поэтому крайне важно правильно выбрать необходимые для изучения характеристики. Здесь учитывают и особенности движений, и реальные возможности их регистрации (наличие аппаратуры, ее соответствие задачам и др.).

Исходя из результатов первичной обработки, составляют план дальнейшего анализа.

7.2. Установление двигательного состава

Основываясь на изученных характеристиках, определяют элементы движений: а) суставные движения звеньев и систем звеньев (элементарные действия) и б) фазы движений.

Устанавливают, из каких положений и в каких суставах выполняются движения, в каких направлениях, с каким размахом; какова их последовательность и согласованность во времени и пространстве. Иначе говоря, определяют внешнюю картину движений в целом.

Вслед за этим (а часто и одновременно) вычленяют составные части движений звеньев, подготовительные, рабочие и заключительные фазы.

7.3. Анализ структуры движений

Еще при установлении состава движений (или двигательного состава) стараются уловить взаимные связи и зависимости элементов. Более или менее обстоятельно установив состав, основное внимание переключают на структуру движений.

Рассматривают, как форма и характер движений, их кинематическая структура связаны с динамикой, с механизмом движений.

Динамическую структуру выясняют начиная с определения механических условий сохранения положений и выполнения движений. Рассматривают внешнее силовое поле, внешние силы, приложенные к телу спортсмена, и его собственные усилия, проявляющиеся как воздействие на собственные части тела и внешние тела.

Выявление внешней и внутренней динамики — столь важная задача в исследовании движений, что ее нередко выделяют как биодинамический анализ. Конечно, без данных о кинематике движений и без изучения их изменения под действием сил невозможно изучать биодинамику. В биодинамическом анализе ведущим является рассмотрение взаимосвязей силовых и инерционных характеристик и особенно сопоставление действия сил с изменением движений.

Главная задача исследования структуры системы движений — воссоздание целостного процесса двигательного действия, выявление объединяющей роли и специфического влияния структурных связей.

7.4. Оценка эффективности движений

Для оценки эффективности движений устанавливают, насколько успешно решена двигательная задача и какова «стоимость» ее решения, насколько рационально (с учетом закономерностей биомеханики) достигнута цель. Для этого изучаются и результат движений, и условия их выполнения, и соответствие движений задаче достижения цели и конкретным возможностям. На этом этапе исследования необходимо широкое сопоставление возможностей человека с их реализацией.

* *
*

При практическом проведении урока необходима оценка исполнения физических упражнений. В этих условиях обычно не применяют сложных приборов. Однако преподавателю необходимо иметь научно обоснованное суждение о качестве исполнения упражнений. Зная основные закономерности движений, наблюдая зрительно за движениями, преподаватель проводит качественный биомеханический анализ (В. Б. Коренберг). Для этого необходимы отличное знание техники упражнений, опыт наблюдения и оценки, наличие хорошо продуманного плана наблюдений, способность быстро и точно замечать детали исполнения упражнений, умение дать ему (опираясь на знание основных положений и законов биомеханики) педагогическую оценку.

ДВИГАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ КАК БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Изучая движения человека, необходимо хорошо знать, как устроен его опорно-двигательный аппарат с точки зрения биомеханики. Это означает, что следует ясно представлять себе принципы строения его пассивной (кости и их соединения) и активной (мышечная система) частей. В отличие от анатомии, которая изучает все детали строения тела, для биомеханики важно выявить именно те особенности строения, от которых зависят свойства органов опоры и движения, а также их участие в выполнении двигательной функции.

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

Биомеханические системы (или живые механические системы) могут моделировать не только опорно-двигательный аппарат. В принципе они могут быть использованы везде, где изучается механическое движение в живых системах (движение жидкостей, газов, перемещение и деформация мягких тканей и т. п.).

Биомеханическая система — это объединение живых объектов (органов, тканей и т. п.), характеризующихся общими особенностями в проявлении законов механического движения, а также общими особенностями способов управления ими, участия в этих движениях или в их использовании.

Кинематические цепи. Множество частей тела, соединенных подвижно, образует биокинематические цепи¹. К ним приложены силы (нагрузки), которые вызывают деформации и изменение движений. Механические свойства (особенности строения и функции) этих цепей влияют на выполнение движений.

¹ Кинематические пары и цепи — понятия, заимствованные из теории механизмов и машин. В живых организмах их правильнее называть биокинематическими.

§ 8. Соединения звеньев тела

8.1. Биокинематические пары

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

В механизмах, созданных умом и руками человека, соединения двух звеньев — кинематические пары — устроены так, что возможны лишь вполне определенные, заранее заданные движения. Одни возможности не ограничены (их характеризуют степени свободы движения), другие полностью ограничены (их характеризуют степени связи).

В биокинематических парах также имеются постоянные степени связи, которые определяют собой, сколько и каких остается степеней свободы движения. Однако самое существенное то, что почти во всех суставах степеней свободы больше, чем в механизмах (т. е. больше, чем одна). Поэтому устройство пассивного аппарата во всех суставах (кроме одноосных) оставляет неопределенность возможных движений. Управляющие воздействия мышц накладывают дополнительные степени связи и оставляют только одну степень свободы (полносвязный механизм). Так обеспечивается одна-единственная возможность движений — именно та, которая требуется.

Следовательно, каждая биомеханическая пара многоосных суставов включает в себе возможности многих механизмов. Управляющие же воздействия мышц выделяют из множества возможностей именно заданное управляемое движение. Биокинематические соединения богаче возможностями, чем кинематические соединения в технических механизмах, но управление ими намного сложнее.

Почти все биокинематические пары в основном вращательные; лишь немногие допускают чисто поступательное скольжение звеньев относительно друг друга и одна пара (голеностопный сустав) — винтовое движение¹.

8.2. Биокинематические цепи

Биокинематическая цепь — это последовательное (или разветвленное) соединение ряда биокинематических пар. В незамкнутых цепях имеется последнее («свободное») звено, входящее лишь в одну пару; в замкнутых цепях нет свободного конечного звена, каждое звено входит в две пары.

В незамкнутой цепи возможны изолированные движения в каждом отдельно взятом суставе. Движения биокинематических цепей в двигательных действиях обычно происходят одновременно

¹ Поверхность суставов не имеет строгой геометрической формы, поэтому в действительности движения суставов сложнее, чем здесь описано.

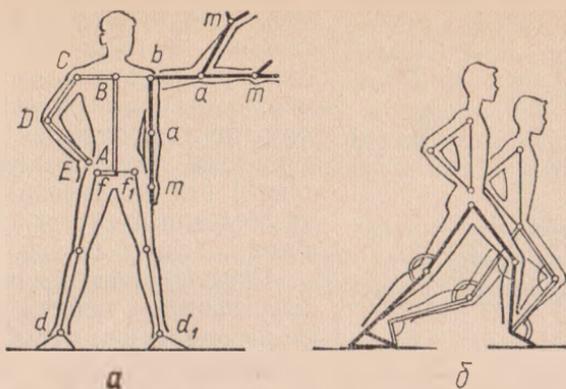


Рис. 7. Биокинематические цепи тела человека: *a* — виды цепей; *vat* — замкнутые; *ABCDE* — замкнутая на себя; *dff1d1* — замкнутая через опору; *b* — взаимосвязь движений в замкнутой цепи

по многих суставах. Но возможность изолированного движения не исключена устройством незамкнутой цепи.

В замкнутой цепи изолированные движения в одном суставе невозможны: в движение неизбежно одновременно вовлекаются и другие соединения. Незамкнутая цепь может стать замкнутой, если конечное свободное звено получит связь (опора, захват) с другим звеном цепи (непосредственно или через какое-либо тело).

На рисунке 7, *a* показан пример незамкнутой цепи (свободная конечность). Две ноги могут замкнуть цепь через опору, например в положении выпада (рис. 7, *b*).

Замкнутая цепь может разомкнуться, стало быть, изменить свои возможности. Постоянно замкнутые цепи (например, грудина — ребро — позвоночник — ребро — грудина) для анализа движений интереса не представляют.

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

Так, в упоре лежа, разгибая руку из положения, когда плечи разогнуты в плечевых суставах (рис. 8, *a*), можно тягой сгибателей плеча (передняя часть дельтовидной мышцы) помогать трехглавой мышце плеча разгибать локтевой сустав. Из положения в упоре лежа (плечи в положении отведения) (рис. 8, *b*) можно тягой других мышц, приводящих плечо (большая грудная, широчайшая спины), также помогать трехглавой мышце плеча. Другой пример, когда нога — незамкнутая цепь: двусуставные мышцы (полусухозиль-

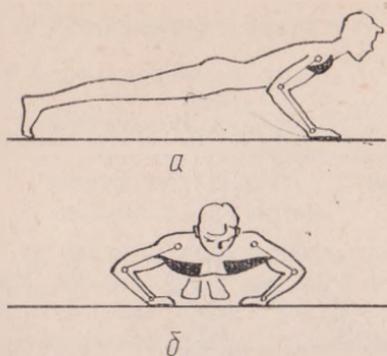


Рис. 8. Передаточное действие в замкнутой цепи на локтевые суставы мышц: *а* — передних частей дельтовидных; *б* — больших грудных

ная, полуперепончатая, длинная головка двуглавой мышцы бедра), проходящие сзади поперечной оси коленного сустава, сгибают его; при отталкивании от опоры (при этом стопа фиксирована на опоре) эти же мышцы, разгибая тазобедренный сустав, уже разгибают коленный сустав.

Следует предупредить от распространенной ошибки при анализе работы мышц, когда разбирают движение в каждом суставе отдельно, без учета характера биомеханической цепи и перехода многосуставных мышц через суставы.

8.3. Степени свободы движения в биомеханических цепях

Число степеней свободы звена соответствует количеству его независимых перемещений (линейных и угловых).

Если на физическое тело не наложено никаких ограничений (свободное), оно может двигаться во всех трех измерениях, т. е. относительно трех взаимно перпендикулярных осей (поступательно), а также вокруг них (вращательно). Следовательно, у него шесть степеней свободы движения (рис. 9, *а*).

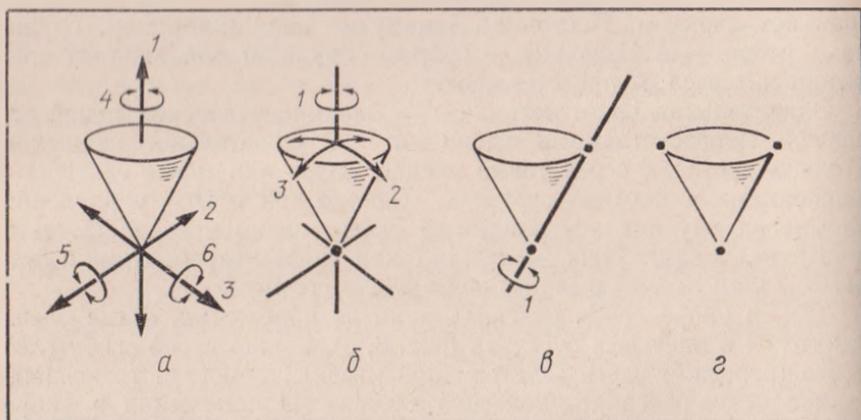


Рис. 9. Степени свободы движений тела при закреплении его точек: *а* — закрепленных точек нет (шесть степеней); *б* — закреплена одна точка (три степени); *в* — закреплены две точки (одна степень); *г* — закреплены три точки (тело неподвижно)

Каждая наложенная связь уменьшает количество степеней свободы. Зафиксировав одну точку свободного тела, сразу лишают его трех степеней свободы — возможных линейных перемещений относительно трех основных осей координат (рис. 9, б). Примером подобных ограничений может служить шаровидный сустав, в котором осталось три степени свободы из шести (вращение относительно трех осей).

Закрепление двух точек тела равносильно фиксации его на оси, проходящей через эти точки: остается одна степень свободы. Пример подобного ограничения — одноосный сустав (рис. 9, в).

Закрепление третьей точки, не лежащей на этой оси, полностью лишает тело свободы движения (рис. 9, г). Следовательно, такое соединение к суставам не относится.

Выделяемые в анатомии двусосные суставы имеют вторую степень свободы вследствие неконгруэнтности (неполного соответствия по форме) суставных поверхностей и упругости связочного аппарата.

Так как почти во всех суставах тела человека (кроме межфаланговых, лучелоктевых, плечелоктевых и атлантоосевого) имеется две и более степеней свободы движения, каждое такое соединение является неполносвязным механизмом. В нем, следовательно, заключены возможности множества механизмов. Для использования одной из многих возможностей включают управляющее воздействие мышц. Это налагает дополнительные связи и таким образом оставляет только необходимую степень свободы.

Формы суставных поверхностей несколько отличаются от форм геометрических поверхностей вращения (шар, цилиндрическая поверхность и др.). Поэтому при движениях нет строго определенной, одной для всего движения геометрической оси вращения. Имеет место смещение множества переменных мгновенных осей вращения. Стало быть, понятие «ось сустава» обозначает лишь общую ориентацию и положение в пространстве мгновенных осей вращения, а следовательно, и плоскостей движения точек звена (плоскость вращательного движения перпендикулярна его оси).

В гимнастических упражнениях многие движения исполняются строго вокруг одной из трех основных осей координат. Это требует точных управляющих воздействий мышц и, стало быть, точного управления их активностью. Такие геометрически строго определенные движения не самые простые и не самые легкие. Их выделяют именно для того, чтобы научиться точно управлять движениями. Когда заданная внешняя картина движения проста и отчетлива, легко заметить отклонения в его выполнении, научиться лучше управлять движениями.

§ 9. Звенья тела как рычаги

Кости, соединенные подвижно, образуют основу биокинематических цепей. Приложенные к ним силы (мышечной тяги и др.) действуют на звенья биокинематических цепей, как на рычаги. Это позволяет передавать действие силы по цепям на расстояние, а также изменять эффект приложенных сил.

9.1. Виды рычагов в биокинематических цепях

Костные рычаги, подвижно соединенные в суставах, могут под действием приложенных сил сохранять положение и изменять его.

Все силы, приложенные к костному звену как рычагу, можно разделить на две группы: а) силы, лежащие в плоскости оси сустава (они не могут повлиять на движение вокруг этой оси), и б) силы, которые имеют составляющие, лежащие в плоскости, перпендикулярной оси рычага (эти силы могут влиять на движение вокруг этой оси в двух прямо противоположных направлениях). Рассматривая действие сил на рычаг, принимают во внимание только силы, направленные по ходу движения (движущие) и против него (тормозящие).

Когда обе группы сил приложены по обе стороны от оси (точки опоры) рычага, его называют *двуплечим рычагом* или *рычагом I рода* (рис. 10, а), когда по одну сторону — *одноплечим* или *рычагом II рода* (рис. 10, б). Для разных мышц, приложенных в разных местах костного звена, рычаг может быть разного рода. Так, относительно своих сгибателей предплечье (при работе против веса груза) представляет собой *одноплечий рычаг*. Относительно же мышц разгибателей (при удержании груза над головой) — оно *двуплечий рычаг* (см. рис. 10, а).

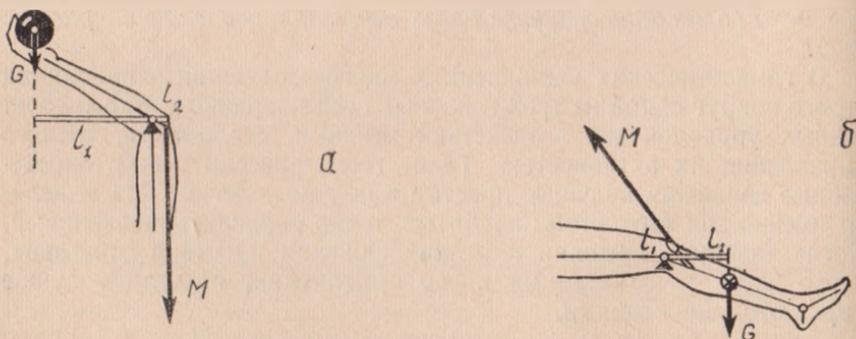


Рис. 10. Костные рычаги: а — двуплечий (I рода); б — одноплечий (II рода)

9.2. Условия сохранения равновесия и движения звеньев как рычагов

Для равновесия либо равномерного вращательного движения звена как рычага необходимо, чтобы противоположно направленные моменты сил относительно оси рычага были равны. При ускорении звена один момент силы преобладает над другим.

При равенстве противоположных моментов сил относительно оси сустава звено либо сохраняет свое положение, либо продолжает движение с прежней скоростью (моменты сил уравновешены).

Если же один из моментов сил больше, то звено получает ускорение в направлении его действия.

Момент движущих сил, преобладая над моментом тормозящих, придает звену положительное ускорение (в сторону движения). Момент тормозящих сил, если он преобладает, вызывает торможение звена. В реальных движениях моменты этих двух групп сил редко бывают равны и поэтому движения обычно либо ускоренные (положительное ускорение, разгон звена), либо замедленные (отрицательное ускорение, торможение звена).

Для сохранения положения звена в суставе, естественно, необходимо равенство моментов сил.

Момент сил движущих или тормозящих определяется как произведение равнодействующей всех движущих сил (или соответственно тормозящих) на ее плечо¹. Когда движущие силы представлены силами тяги мышц, движение преодолевает мышца, мышца сокращается. Если мышца выполняет отрицательную работу, тормозит движение, оно называется *уступающим*, мышцы растягиваются.

При всех движениях угол α между направлением равнодействующей группы сил и звеном изменяется. Плечо рычага — расстояние от точки опоры рычага до мес-

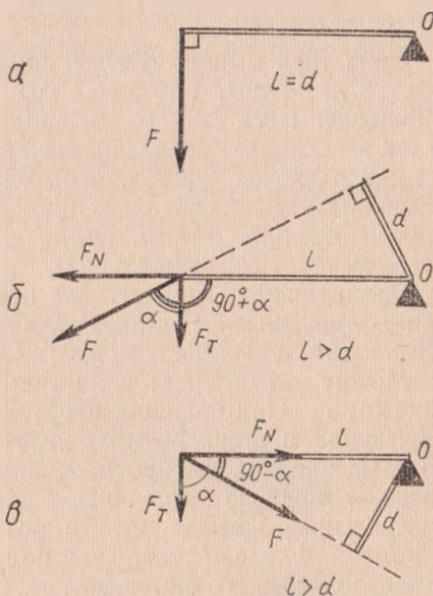


Рис. 11. Зависимость вращающей составляющей (F_T) и укрепляющей (F_N) силы F от угла приложения к рычагу; a — прямой угол; b — тупой угол; c — острый угол

¹ Плечо силы, как известно, является длиной перпендикуляра, опущенного из точки опоры рычага на линию действия силы.

та приложения силы — остается неизменным. Но плечо силы изменяется (рис. 11, б, в); изменяется обычно и сама сила мышечной тяги. Следовательно, момент силы тяги мышц не остается постоянным. Все это создает большие трудности для управления движениями, но вместе с тем обуславливает и широкие возможности изменения движений.

Когда сила приложена к рычагу под углом, отличающимся от прямого, ее можно разложить на *тангенциальную* составляющую (касательную к траектории точек рычага) и *нормальную* (перпендикулярную направлению движения). Тангенциальная составляющая влияет на скорость движения рычага, поэтому она называется *вращающей* (или *явной*). С точки зрения механики нормальная составляющая, направленная вдоль рычага, никакого механического эффекта не производит. Однако биомеханический подход заставляет учитывать, что она прижимает суставные поверхности костей одну к другой и этим укрепляет сустав; отсюда ее название — *укрепляющая* (или *скрытая*).

9.3. «Золотое правило» механики¹ в движениях человека

Работа, совершаемая силой, приложенной на плече рычага, передается на другое плечо.

Сила тяги мышцы обычно приложена на более коротком плече рычага, и поэтому плечо ее силы невелико. Это связано с тем, что в большей части случаев мышцы прикрепляются вблизи суставов. В тех же случаях, когда они расположены вдоль звена и прикрепляются вдалеке от сустава, угол тяги мышцы очень мал и поэтому плечо силы также очень невелико. В связи с этим *мышцы, действующие на костные рычаги, почти всегда дают выигрыш в скорости, естественно, проигрывая в силе.*

Здесь можно различать две причины проигрыша в силе. Первая — *прикрепление мышцы вблизи сустава*, вторая — *тяга мышцы вдоль кости под очень острым (или тупым) углом.*

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

¹ «Золотое правило» механики (закон равенства работ) утверждает, что работа движущей силы равна работе силы сопротивления. Следовательно, выигрыш в пути пропорционален проигрышу в силе, и наоборот.

Таким образом, в связи с особенностями приложения мышечных сил к костным рычагам возникают значительные напряжения мышц при скоростных и силовых движениях. Выигрыш в скорости и укрепление суставов требуют значительного развития силы мышц.

БИОДИНАМИКА МЫШЦ

§ 10. Свойства мышц

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

10.1. Механические свойства мышц

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

Упругая деформация возникает в мышце под действием нагрузки и исчезает при ее снятии. При этом в мышце возникают упругие силы.

Работа, затрачиваемая на деформацию, переходит в потенциальную энергию упругой деформации. Упругие силы по мере увеличения деформирующей нагрузки растут и в конце концов останавливают деформацию. После снятия нагрузки они же восстанавливают первоначальную форму деформированной (растянутой) мышцы. Каждой величине деформации (длине растянутой мышцы) отвечает соответствующее напряжение.

Рассмотрим упругость на графике «длина — напряжение» невозбужденной мышцы (рис. 12, а); в этом случае напряжение мышцы зависит только от упругой деформации.

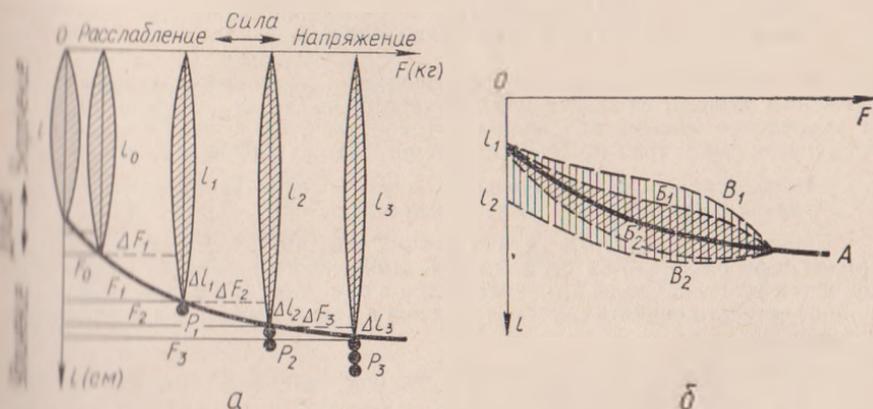


Рис. 12. График «длина — напряжение» невозбужденной мышцы: а — проявление упругости; б — проявление вязкости

С увеличением нагрузки (P) увеличивается и длина мышцы (l). Чтобы растянуть мышцу, необходимо приложить к ней силу.

Мышца, удлинняясь под действием нагрузки, увеличивает свое напряжение. Значит, увеличить напряжение мышцы (без ее возбуждения) можно, только увеличивая нагрузку на нее.

На графике видно, что по мере растягивания мышцы *одну и ту же прибавку напряжения* ($\Delta F_1 = \Delta F_2 = \Delta F_3$) *вызывают все меньшие приращения ее длины* ($\Delta l_1 > \Delta l_2 > \Delta l_3$). Здесь нет прямой пропорциональности: упругость мышцы нелинейна.

Вязкость мышцы проявляется в запаздывании деформации мышцы при изменении нагрузки.

На рисунке 12, б толстой линией (A) изображено соотношение «длина — напряжение» в идеальном случае, когда нет сопротивления внутреннего трения в невозбужденной мышце. Точечная линия (B) показывает, как при наличии вязкости для каждого напряжения мышцы ее длина отстает от «идеальной». Штриховая линия (B) характеризует мышцу с еще большей вязкостью; запаздывание деформации еще больше, чем в случае (B). Более того, мышца с большой вязкостью после снятия нагрузки может не сразу вернуться к исходной длине (l_1) — в ней остается остаточная деформация: $\Delta l = l_2 - l_1$.

Кривые (B и B) образуют так называемые «петли гистерезиса». Они характеризуют, во-первых, запаздывание деформации и при растягивании (B_1 и B_1), и при сокращении (B_2 и B_2). Кроме того, они показывают, какая работа затрачивается на преодоление вязкости. Эта работа, соответствующая потере энергии в описываемом цикле, численно равна площади, которая ограничена петлей гистерезиса.

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

Это свойство характеризует изменчивость соотношения «длина — напряжение» мышцы, не зависящую непосредственно от ее возбуждения, т. е. от управления мышцей как живым органом. Так, остаточная деформация, упомянутая выше, тоже может быть рассмотрена как проявление ползучести.

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

Проявления ползучести и релаксации мышцы рассматриваются вне прямой зависимости от ее возбуждения. Для живого организма такой подход чисто условен. Смысл его заключается в том, что даже с позицией механики не следует понимать связь напряжения и длины мышцы как постоянные соотношения.

Упругие силы, возникающие в мышце, могут составлять преобладающую часть силы тяги мышцы, поэтому на использование упругих свойств мышцы при разборе движений следует обращать особое внимание.

Проявление активности мышцы определяется изменением ее длины, либо ее напряжения, либо того и другого одновременно.

Возбудимость мышцы — ее свойство переходить в состояние возбуждения, которое проявляется в изменении ее напряжения, упругости, вязкости и др.

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

При одном и том же напряжении мышцы и одинаковой нагрузке длина мышцы вследствие возбуждения становится меньше — мышца сокращается. Если уменьшить возбуждение или же увеличить нагрузку, мышца растягивается.

Следовательно, изменения длины мышцы — ее сокращение и растягивание (удлинение) — определяются степенью ее возбуждения и величиной нагрузки.

Мышца при одной и той же длине (например, когда ее места прикрепления фиксированы неподвижно) во время возбуждения напрягается, при уменьшении возбуждения — расслабляется. Следовательно, в таких условиях изменения силы тяги мышцы — ее напряжение и расслабление — определяются степенью ее возбуждения, ее активностью.

Часто говорят только о двух режимах работы мышцы: мышца сокращается и расслабляется. Это неправильно, так как здесь противопоставляют две различные характеристики: кинематическую (длина мышцы) и динамическую (сила тяги мышцы). На самом деле в различных состояниях изменяется и кинематическая, и динамическая характеристика состояния мышцы, что обуславливает не два вида работы, а гораздо больше, по крайней мере девять видов (см. 11.2).

Можно представить себе, что мышца в результате возбуждения сократилась, а нагрузка и, стало быть, напряжение не изменились; это изотоническое сокращение (рис. 13, 1—2). Сокращение мышцы в организме сопровождается движе-

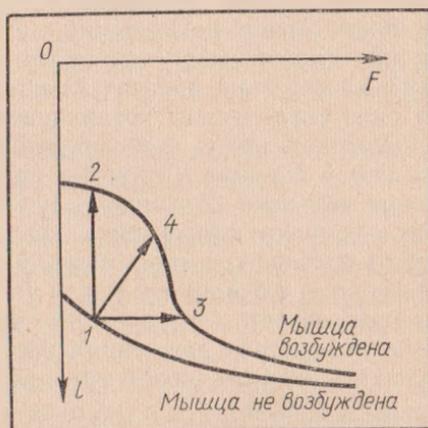


Рис. 13. Проявление возбуждения мышцы в режимах: 1—2 — изотонического сокращения; 1—3 — изометрического напряжения; 1—4 — ауксоническом

нием; угол тяги мышцы изменяется, следовательно, изменяются момент ее силы и момент силы сопротивления (нагрузки). В этих условиях сохранить напряжение мышцы постоянным очень трудно, да и необходимости в этом тоже нет. Практически такой режим работы в реальных движениях вряд ли встречается¹.

В случае фиксирования мест прикрепления мышцы при ее возбуждении увеличивается ее напряжение. Это *изометрическое напряжение*², длина мышцы остается прежней (рис. 13, 1—3). Такой режим работы мышц встречается во всех случаях активного сохранения положения всего тела или в отдельных биокинематических цепях и парах.

В движениях человека обычно имеет место изменение и длины, и напряжения мышц. Это так называемый *ауксотонический режим* (рис. 13, 1—4). В этом случае и длина мышцы, и ее напряжение изменяются под влиянием множества факторов (как биологических, так и механических), поэтому его правильнее называть *ауксоническим*.

§ 11. Виды работы мышц

Механическое действие мышц проявляется как тяга, приложенная к месту их прикрепления.

11.1. Сила и результат тяги мышц

Сила тяги мышц зависит от совокупности механических, анатомических и физиологических условий.

Основным механическим условием, определяющим тягу мышцы, служит *нагрузка*. Без нагрузки для мышцы не может быть ее напряжения, не может быть ее силы тяги. Нагрузка растягивает мышцу при ее уступающей работе. Против нагрузки мышца выполняет преодолевающую работу. С нарастанием нагрузки сила тяги мышц увеличивается, но не беспредельно.

Нагрузка может быть представлена весом отягощения, а также его силой инерции и другими силами. Большее ускорение отягощения вызывает большую силу инерции. Следовательно, и при не очень большом отягощении, увеличивая ускорение, можно увеличивать нагрузку, а стало быть, и силу тяги мышцы.

Из *анатомических условий* проявления тяги мышцы надо назвать *строение* мышцы и ее *расположение* (в данный момент движения). Физиологический поперечник мышцы (площадь сечения через все волокна перпендикулярно их осям)

¹ Иногда в литературе встречается термин «изотонические упражнения». Этот термин ошибочен, так как при движениях напряжения мышцы изменяются.

² Термин «изометрическое сокращение» также неверен.

определяет суммарную тягу всех волокон с учетом их взаимного расположения. От расположения волокон зависит и величина их упругой деформации при растягивании всей мышцы, а значит, и величина возникающих упругих сил.

Расположение мышцы в каждый момент движения определяет угол ее тяги относительно костного рычага, т. е. влияет на величину момента силы тяги мышцы. При углах, отличающихся от прямого, кроме вращающей, имеется и укрепляющая составляющая тяги мышцы. С появлением укрепляющей составляющей уменьшается вращающая.

Физиологические условия проявления тяги мышцы в основном можно свести к ее возбуждению и утомлению. Эти два фактора отражаются на возможностях мышцы, повышая или снижая ее напряжение.

Величина тяги мышцы связана с быстротой ее деформации. С увеличением скорости сокращения мышцы ее предельное напряжение падает. При уступающей работе увеличение скорости растягивания мышцы увеличивает ее напряжение (рис. 14). Это очень важно для оценки напряжения мышцы при быстрых движениях.

Для определения результата приложения силы тяги мышцы необходимо знать не только условия проявления величины тяги, но и условия ее использования. В биокинематической паре эффект тяги мышцы зависит от условий закрепления звеньев (рис. 15).

Так, если закреплено первое звено, то тяга мышцы приближает к нему второе. Закрепление второго звена обеспечивает приближение к нему первого. Отсутствие закрепления обоих звеньев позволяет осуществиться в встречном движению: оба звена движутся навстречу друг другу. Таковы в принципе все движения человека, когда нет опоры. Наконец, если так или иначе закреплены оба звена, то сила тяги соединяющей их мышцы никакого движения не вызовет. Поэтому для суждения о результате тяги мышцы обязательно определяют условия закрепления звеньев.

Сила тяги мышцы приложена к звеньям, имеющим определенные начальные условия движения. К последним относятся начальное положение биокинематической пары и начальная скорость, которые имели место в момент приложения тяги мышцы. Таким образом, сила тяги мышцы и ее результат зависят от кон-

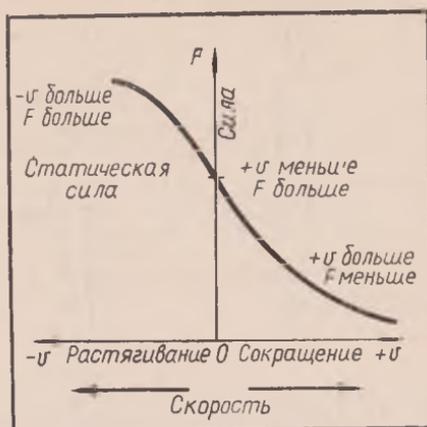


Рис. 14. График «сила — быстрота деформаций» мышцы (по Абботту и др.)

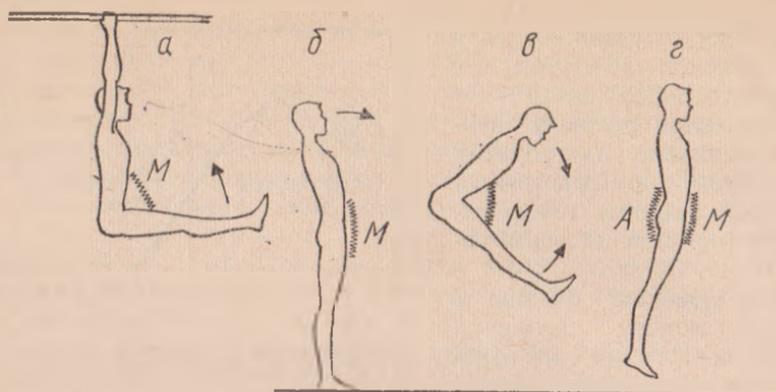


Рис. 15. Результат тяги мышц (M): а — при верхней опоре; б — при нижней опоре; в — без опоры; г — при фиксации антагонистами (А) (по В. Э. Нагорному)

кретных условий, которые могут быть очень различными. Определение только одной силы тяги (без учета конкретных условий) не может дать ответ, каков будет результат тяги.

Необходимо иметь в виду, что в биокинематических цепях количество конкретных условий намного больше, чем в примере тяги одной мышцы в одной биокинематической паре. Поэтому определение работы мышц в каком-либо движении человека — очень сложная задача. В каждом конкретном случае лишь совокупность всех условий определяет результат работы мышц в целом.

11.2. Разновидности работы мышц

Разновидности работы мышц определяются сочетанием напряжения и длины, а также характером их изменений.

Общезвестные виды работы мышц (преодолевающая, уступающая и удерживающая) определяются только направлением изменения длины мышцы: укорочением, удлинением, сохранением длины. Для этих трех видов работы (первые два — динамическая, последний — статическая) существует возможность по меньшей мере трех вариантов изменения предельного напряжения мышц по сравнению с изометрическим: его нарастание, уменьшение, сохранение без изменений. В результате схематически можно выделить девять типичных разновидностей работы мышц (табл. 1).

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

Типичные разновидности работы мышц

| Напряжение мышцы | Длина мышцы | | |
|------------------|---------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| | уменьшается | постоянная | увеличивается |
| Увеличивается | 1. Движение «до отказа» | 4. Усиление фиксации | 7. Торможение до остановки |
| Постоянное | 2. Изотоническое преодоление | 5. Постоянная фиксация | 8. Изотоническое уступание |
| Уменьшается | 3. Разгон до максимума скорости | 6. Ослабление фиксации | 9. Притормаживание с уступанием |
| Вид работы | Преодолевающая работа | Статическая работа | Уступающая работа |

Во время сохранения положения тела имеет место постоянная фиксация (разновидность 5), но могут быть случаи, когда необходимо ее усиление (4) или возможно ослабление (6). В начале каждого активного движения всегда имеет место разгон, увеличение скорости (3). Прекращение движения работой мышц есть следствие тормозящей работы (7). Последние две разновидности самые распространенные в движениях и заслуживают особого внимания. В физических упражнениях (особенно скоростно-силовых) уступающая работа одной и той же мышцы переходит в преодолевающую. В этом случае более полно используются силы упругой деформации (см. § 15). В сложных действиях одна и та же мышца может не раз включаться в работу, изменяя при этом свои особенности (разновидности).

Хотя работа мышц и проявляется только через их тягу, разновидности работы различны и результаты тяги в зависимости от конкретных условий очень разнообразны.

§ 12. Групповые взаимодействия мышц

Действие отдельных мышц в биокинематических цепях в нормальных условиях никогда не бывает изолированным. Мышцы действуют группами, со сложным взаимодействием как между группами, так и внутри них.

§ 12.1. Опорные и рабочие напряжения

Рабочие напряжения мышц (динамическая работа) обуславливают выполнение движений, а опорные напряжения мышц (статическая работа) создают необходимые для этого условия.

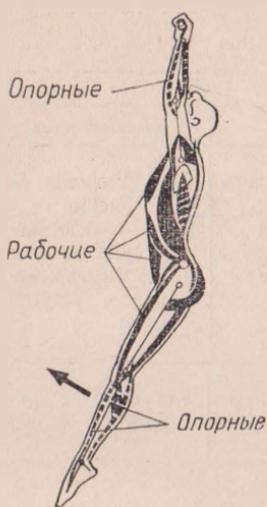


Рис. 16. Опорные и рабочие напряжения мышц

Человек выполняет движения как при опоре, так и без опоры (различные фазы прыжка, бега и т. п.). В первом случае звенья тела, соприкасающиеся с опорой, — опорные звенья — сохраняют свое положение и связь с ней (например, в виси, рис. 16) благодаря опорным напряжениям мышц. Это статическая работа, фиксирующая суставы. Кроме этого, иногда необходимо фиксировать те или иные звенья тела, чтобы создать опору для мышц, выполняющих динамическую работу. Создается своего рода «фундамент» для подвижных звеньев, движущихся относительно друг друга и относительно опорных.

Мышцы, осуществляющие движения подвижных звеньев, обеспечивающие активные движения, находятся в рабочих напряжениях.

Таким образом, все мышцы, участвующие в двигательном действии, можно разделить на две группы. Эти группы объединены по такому признаку — работают ли они статически или динамически. Оба эти вида работы зависят один от другого. В движениях, требующих значительных рабочих напряжений, обычно бывают значительными и опорные напряжения.

Ввиду того что длительные опорные напряжения (статическая работа) утомительны, нередко статические опорные напряжения заменены своего рода «опорными» динамическими напряжениями. В этих случаях опорные звенья не остаются совершенно неподвижными, они движутся (только с малыми размахами).

12.2. Функциональные группы мышц

Мышцы, окружающие сустав, образуют функциональные группы для конкретного движения: синергисты (совместного действия), выполняющие преодолевающую работу, и их антагонисты (противоположного действия), выполняющие уступающую работу.

Для мышц-синергистов характерно то, что при совместном действии они обуславливают движение, которое по отдельности обеспечить не могут. Тяги мышц-синергистов создают равнодействующую. Иначе говоря, у синергистов можно выделить по две составляющие тяги: направленные одинаково складываются, а направленные противоположно взаимно уравниваются. При изменении силы тяги уравнивающие составляющие могут изменить и направление совместной тяги.

Мышцы-антагонисты, участвуя в движениях, выполняют уступающую работу. Растягиваясь, они тормозят движение. Если же действие их тяги становится равно действию синергистов, то в случае прекращения движения они становятся мышцами-фиксаторами положения того звена, к которому приложены их тяги.

Синергизм и антагонизм в работе мышц относительны. Так, противоположно направленные составляющие мышц-синергистов можно рассматривать как взаимно антагонистичные. В свою очередь, совместная тяга синергистов и их антагонистов обеспечивает заданный эффект, значит, они в известной степени проявляют синергизм.

В многоосных суставах управление движениями — превращение механизма неполносвязного (с многими возможностями движений) в полносвязный (с единственным движением) — осуществляется взаимодействием функциональных групп мышц.

Совместная тяга синергистов определяет в основном направление движения звена (рис. 17). В то же время их антагонисты, растягиваясь, напрягаются, притормаживают движение. Совместно с синергистами они определяют величину скорости звена. Антагонисты (как и синергисты) обычно имеют направление тяги под углом друг к другу, поэтому составляющие их тяги, направленные в противоположные стороны, также участвуют в определении направления движения.

Итак, равнодействующая тяг синергистов — движущая тяга, а их антагонистов — тормозящая тяга. Их совместное действие определяет величину скорости. Равнодействующие всех нормальных составляющих (перпендикулярных направлению движения) — направляющие тяги — определяют направление скорости как вектора. Все функциональные группы мышц многоосного сустава, изменяя

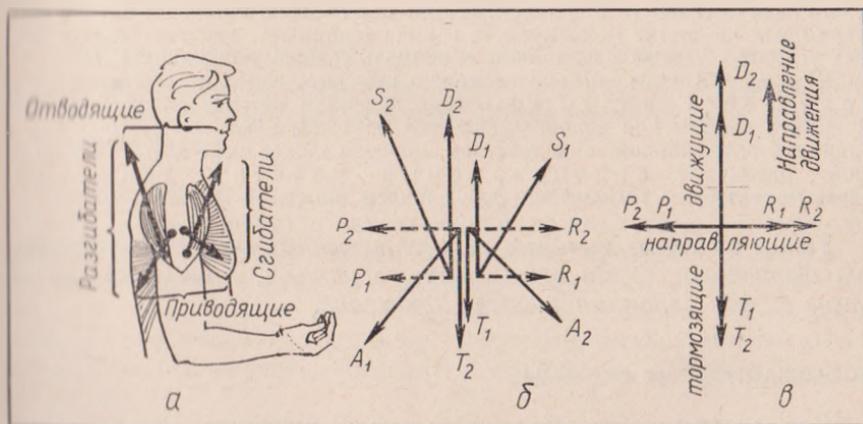


Рис. 17. Взаимодействие мышц в неодноосном суставе: а — направления тяги мышц; б — их составляющие; в — суммарные тяги

свои движущие, тормозящие и направляющие тяги, управляют движениями. Неполносвязный механизм сустава благодаря согласованной работе функциональных групп мышц превращается в биодинамически полносвязный механизм (б и о м е х а н и з м).

Величину основных тяг можно постоянно и целенаправленно изменять. Это позволяет непрерывно управлять изменениями направления и скорости движений.

Когда движение выполняется против постоянного (например, сила трения) либо увеличивающегося сопротивления (например, упругая сила), тормозящее действие антагонистов может отсутствовать. При уменьшающемся сопротивлении (например, сила инерции) торможение антагонистов позволяет регулировать скорость движений и останавливать их в нужный момент.

Влиянием упругих и инерционных сил объясняется разное согласование тяги синергистов и антагонистов в повторяющихся колебательных движениях. В медленных движениях работа мышц противоположной тяги чередуется. С увеличением частоты она постепенно как бы смещается и взаимно наслаивается, совпадает во времени. Мышца-антагонист, напрягаясь, тормозит движение и, остановив звено, становится синергистом, ведет движение в обратную сторону.

Распределение напряжений в группе мышц определенного сустава по ходу движения изменяется. Следует добавить, что невозможно совершенно точная дозировка величины напряжения каждой мышцы, скорости ее нарастания, времени включения и выключения. Поэтому всегда в той или иной степени возникают рассогласования напряжений мышц. Эти рассогласования служат одной из главных внутренних помех в управлении движениями. Научиться преодолевать рассогласования напряжений мышц очень непросто. Это одна из главных задач при овладении движениями.

Каждая мышца, участвующая в движении, имеет свою зону активности. Это те пределы, в которых мышца может выполнять свою функцию в данном движении. Границы зоны зависят от требуемого размаха движений. Часто зона активности отдельной мышцы еще более ограничена: размах движения еще не достиг максимума, а мышца (например, двусуставная) в данных условиях уже не в состоянии выполнять требуемую функцию.

В пределах зоны активности можно выделить еще оптимальную зону действия мышцы (при заданном режиме работы). В этой зоне тяга мышцы для данного движения наиболее эффективна. Наконец, в границах оптимальной зоны действия, которая может быть достаточно большой, различают акцептируемый участок движения. Здесь момент силы тяги мышцы для данного движения наибольший.

Таким образом, *мышцы в целенаправленных движениях проявляют активность всегда согласованно, группами, причем взаимодействие между группами также согласовано.*

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Для изучения опорно-двигательного аппарата человека как биомеханической системы необходимо последовательно рассмотреть строение этой системы, ее свойства, особенности режима движений.

С точки зрения биомеханики опорно-двигательный аппарат рассматривают как управляемые биокинематические цепи (звенья и их соединения), оснащенные группами мышц.

4 13. Строение биомеханической системы

13.1. Звенья биокинематических цепей

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

Твердые звенья (кости), упруговязкие (мышцы) и гибкие (изменяющие форму связки, сами мышцы и их сухожилия) обеспечивают многообразные переменные возможности движений.

Фиксирование суставов (блокада) и их освобождение (снятие динамических связей — напряжений мышц) *изменяют количество движущихся звеньев в цепи*. Она может превратиться в одно звено или сохранять движение в части сочленений или во всех сочленениях.

Расстояние по прямой от проксимального сочленения до конца открытой цепи при сгибании — разгибании изменяется. Это влияет на величину инертного сопротивления (изменения момента инерции, см. 21.3). *Многозвеньные маятники имеют переменную длину*.

Биокинематические цепи, замыкаясь геометрически (связываясь между собой конечных звеньев), изменяют свои свойства (передача усилий, возможности управления). В частности, *возникают составные рычаги со сложной передачей тяг многосуставных мышц*.

13.2. Механизмы соединений

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

Биодинамический полносвязный механизм характеризуется исключением лишних степеней свободы движений. Напряжения мышц определяют требуемое направление движений звеньев в биокинематических цепях и регулирование их скоростей. Кроме этого, мышцы при необходимости ограничивают размах движений, затормаживая звенья раньше, чем наступает пассивное ограничение (костносуставно-связочное).

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

13.3. Мышечные синергии

Мышечные тяги в биокинематических цепях складываются в мышечные синергии — согласованные тяги группы мышц переменного действия, управляющие группой звеньев.

С одной стороны, мышцы и з м е н я ю т свое действие по ходу движения, действие их переменное. С другой стороны, в сложных установившихся движениях совместное действие мышц настолько стабильно, что они представляют собой весьма п о с т о я н н ы е устойчивые объединения.

Мышечные синергии, таким образом, характеризуются переменной активностью при постоянстве их взаимодействия.

Согласованное использование мышечных тяг *коренным образом отличает биомеханические системы от технического механизма.* Обеспечивается управление каждым звеном и всем биомеханизмом в целом в соответствии с решаемой двигательной задачей. Из бесчисленного количества возможных сочетаний движений выделились, усовершенствовались и применяются лишь немногие, н а и б о л е е целесообразные. Определяющую роль в этом играют мышечные синергии, находящиеся под контролем и управлением со стороны нервной системы.

§ 14. Свойства биомеханической системы

Свойства биомеханической системы (в отличие от технических механизмов) обеспечивают возможности приспособления к переменным условиям при смене двигательных задач.

14.1. Энергия в биомеханической системе

Механическая энергия биомеханической системы расходуется как эффективно (на выполнение заданных движений), так и непроизводительно (рассеяние энергии). Она подводится в систему извне (работа внешних сил) и изнутри (превращение химической энергии в механическую).

При движениях в биомеханической системе происходят деформации:

а) п о з н а я — перемена позы как взаимного расположения звеньев под действием внутренних и внешних сил;

б) м ы ш е ч н а я — изменения длины и поперечника мышц при их сокращении и растягивании, напряжении и расслаблении (изменения сократительных и упругих элементов при возбуждении и нагрузках);

в) в н у т р е н н и е — смещение мягких и жидких тканей при ускорениях, что вызывает появление внутренних сил инерции и трения.

Вследствие затраты работы механических сил на деформации происходит значительное рассеяние (диссипация) энергии: *непроизводительное расходование энергии на работу против сил трения, упругих, вязких и др.* При остановке движения напряжением мышц и их последующем расслаблении механическая энергия движения *превращается в другие виды энергии без работы внешних сил.*

В биомеханические системы подводится механическая энергия благодаря приложению внешних сил, а также в результате превращения в мышцах внутренней химической энергии в механическую. Последний источник энергии не обусловлен внешними механическими условиями.

Расход и подвод энергии в биомеханических системах возможен без механического воздействия среды.

14.1. Приспособительная активность

В переменном силовом поле (внешнем и внутреннем) эффективность движений обусловлена соответствием импульсов из центральной нервной системы начальным условиям движения (напряжению мышц, положению и скорости звена), а также внешнему окружению и двигательной задаче.

Одинаковые нервные импульсы из центральной нервной системы при прочих равных условиях вызывают одинаковые напряжения мышц, а одинаковые напряжения мышц обуславливают одинаковые движения. В принципе это верно, но так как *никогда не бывает равных условий, то и однозначной связи между импульсом и движением нет.*

Напряжение мышцы зависит не только от ее возбуждения (результат импульса), но в числе других причин и от ее длины (насколько растянута, как быстро и как давно). *Одинаковые импульсы вызывают в мышце при различном растягивании различные напряжения.*

Движения звена зависят от напряжения многих мышц и, кроме того, от всех других сил, приложенных к звену. Поэтому между напряжением мышцы и движением звена также нет однозначной связи.

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

Для соответствия движений двигательной задаче необходимо управлять ими, приспособляясь ко всем условиям (внешним и внутренним), что возможно благодаря приспособительной активности нервной системы.

§ 15. Особенности режима движений биомеханической системы

Человек осуществляет двигательную деятельность при различных условиях функционирования опорно-двигательного аппарата. Форма деятельности в определенных условиях обычно называется ее режимом: при сохранении положений звеньев тела — статический режим, при смене положений — динамический (уступающий и преодолевающий). На базе основных режимов в двигательных действиях складываются сложнейшие сочетания перепределенный напряжений мышц. Одно из важнейших сочетаний — смена уступающей работы преодолевающей, и наоборот (колелбательный режим).

15.1. Статический режим

Статический режим характеризуется относительно постоянной длиной и напряжением мышц при неизменной позе и сохранении положения тела.

Вследствие биологической активности мышц в норме у человека всегда наблюдается физиологический тремор (дрожание). Сила тяги мышцы колеблется, и длина всей мышцы немного, незаметно изменяется.

Таким образом, в этом случае нет настоящей статики как полной неподвижности, покоя. Посменная работа двигательных единиц в мышце вызывает колебания звеньев тела с различной частотой (низкие частоты 1—2 гц, высокие — до 30—50 гц). Следовательно, имеет место и некоторая механическая работа, измеряемая произведением силы тяги мышц на смещения звена, вызванные этой тягой. Когда этот режим называют изометрическим, то имеют в виду, что длина всей мышцы почти не изменяется. Если говорят о «статической» работе мышцы, то имеют в виду, что мышца обеспечивает относительный покой (колебания звена малозаметны), сохранение положения тела (см. гл. V).

Работа («статическая») имеет место, но *ее внешний механический эффект (решение двигательной задачи) — отсутствие заметных движений в суставе.*

15.2. Динамические режимы

Динамические режимы характеризуются участием мышц (с изменением их длины и напряжения) в активных движениях, что обеспечивает выполнение механической работы (энергия движений) и двигательной задачи (управление движениями).

При преодолевающем режиме мышцы, укорачиваясь, совершают положительную работу. Их тяга направлена на увеличение скорости. В одних движениях (преимущественно замедленных) преодолевающий режим сохраняется до

юшка движения в данном направлении (например, подтягивание в висе) — непрерывная тяга. В других случаях (преимущественно быстрых — скоростные и скоростно-силовые движения) преодолевающий режим имеет место только в первой части движения. Звену сообщается положительное ускорение (разгон звена). Далее мышца выключается из работы, и движение продолжается по инерции. Это начальная тяга в движении (баллистическая работа мышцы).

При уступающем режиме мышцы, растягиваясь, совершают отрицательную работу. Их тяга направлена на уменьшение скорости. Эта отрицательная работа может быть предной, если она преждевременно тормозит движение, мешает преодолевающей работе мышц, обеспечивающих активное движение. Однако отрицательная работа почти во всех движениях играет крайне важную управляющую роль. Мышцы-антагонисты данного движения, притормаживая звено, регулируют скорость, а также останавливают звено в заданном положении. Вместе с тем направляющие тяги взаимно антагонистических групп мышц регулируют направление движений, управляют движением звена в неодносном сочленении.

Следует различать преодолевающую работу в движении, когда движение выполняется вследствие преодолевающей работы мышц и вызвано этой работой, и преодолевающую работу (или режим работы) мышц, когда мышца выполняет работу лишь до тех пор, пока ее тяга приложена к звену в направлении движения. Преодолевающее движение есть следствие активной работы мышц (с непрерывной или только начальной тягой). Преодолевающая же работа производится не в продолжение всего времени движения, а только во время активной тяги мышцы. Можно представить себе медленное движение, когда синергисты сокращаются, антагонисты растягиваются и обе группы мышц напряжены. Первая выполняет положительную работу, вторая в то же самое время — отрицательную. Такая двойная, взаимно уничтожаемая работа с энергетической точки зрения невыгодна, но для эффективного управления может быть очень важной.

Преодолевающая работа наблюдается не во всех движениях человека и не в каждый момент тех движений, которые осуществляются по инерции и под действием внешних сил и внутренних пассивных сил. Уступающая же работа имеет место во всех движениях, иногда на протяжении всего движения и всегда к моменту окончания движения: *«Мышцы — главные тормоза движений»* (П. Ф. Лесгафт).

11.1 Преобразования биопотенциальной энергии

Биопотенциальная энергия в мышце имеет два источника: 1) запасы энергетических веществ (превращение химической энергии в потенциальную энергию активного напряжения мышцы) и 2) работу внешних для мышцы сил (превращение

кинетической энергии движущегося звена, которое растягивает мышцу, в потенциальную энергию упругой деформации мышцы).

Накопление потенциальной химической части энергии напряженной мышцы обусловлено нервными импульсами. Накопление потенциальной упругой части энергии напряженной мышцы обусловлено ее деформацией. Биопотенциальная энергия расходуется на положительную и отрицательную работу мышцы в динамических, а также в статических режимах. Накопление химической энергии есть следствие обмена веществ, а упругой энергии — следствие участия мышцы в движении, ее упругой деформации.

Мышца играет роль *производителя* механической энергии (*генератор*) благодаря биохимическим превращениям. Химическая энергия служит источником происхождения части биопотенциальной энергии. При этом возникает напряжение всей мышцы как органа.

Мышца играет роль *преобразователя* механической энергии (*трансформатор*): именно она преобразует биопотенциальную энергию в кинетическую энергию движущегося звена. Мышца-антагонист, энергично тормозя звено, преобразует его кинетическую энергию в потенциальную упругую энергию мышцы. К моменту остановки звена кинетическая энергия падает до нуля, частично переходя в упругую энергию растянутого антагониста. На этом уступающая работа мышцы закончена. Вслед за этим упругая энергия мышцы тратится на разгон звена в обратном направлении. Звено увеличивает скорость, приобретает кинетическую энергию за счет расхода упругой энергии мышцы при ее сокращении.

Итак, мышца как *двусторонний преобразователь* механической энергии превращает сначала кинетическую энергию в потенциальную (упругую) и вслед за этим, наоборот, упругую в кинетическую.

Мышца играет роль и *накопителя* механической энергии (*аккумулятор*), обеспечивая добавки механической энергии химического происхождения к общему запасу энергии в системе «звено — мышца».

Рассмотрим ряд повторных колебательных движений звена, оснащенного мышцей (см. рис. 18). Такая модель показывает, как мышца сначала играет роль *двигателя*, разгоняя звено, *совершая положительную работу, затрачивая биопотенциальную энергию*. Затем эта же мышца вследствие своего расположения начинает играть роль *тормоза* — тормозя

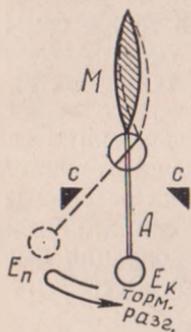


Рис. 18. Преобразование механической энергии в модели колебательных движений звена (по Н. С. Серверцову)

ивно, совершая отрицательную работу, уменьшая кинетическую и накапливая биопотенциальную энергию (ее упругую составляющую)¹.

В каждом цикле (движение «туда-обратно») часть биопотенциальной энергии рассеивается, расходуется непроизводительно (потери из-за трения, на теплообразование и др.). Если предоставить самим себе колеблющееся звено с трансформатором энергии — мышцей, то колебания будут затухающими. Если в каждом цикле за счет запасов химической энергии добавлять механической энергии ровно столько же, сколько ее рассеивается, то колебания будут постоянными. Если же в каждом цикле за счет запасов химической энергии добавлять механической энергии хотя бы немного больше, чем рассеивается, то произойдет накопление энергии, колебания станут нарастающими. Это явление резонанса. Здесь важно не только то, сколько подвести энергии, но также и когда ее подвести. Сколько? — Больше, чем потери. Когда? — Лучше всего в начале превращения биопотенциальной энергии в кинетическую, т. е. в начале разгона звена.

Примером мышц прямого и возвратного действия могут служить приводящие мышцы бедра (сгибание и разгибание бедра в тазобедренном суставе при беге), большая грудная (движения рук при беге).

При стартовом разбеге у бегуна накапливается энергия в мышцах (вследствие резонанса). При беге на дистанции с постоянной скоростью подвод энергии равен ее рассеиванию (режим постоянных колебаний).

Для лучшего использования упругой энергии в колебательном (резонансном) режиме необходимы определенные условия (рис. 19):

1) волокна мышцы необходимо значительно растянуть (на рисунке зона C), движения выполнять с достаточным размахом;

2) при растягивании мышц следует передать им большое количество кинетической энергии: разогнать звено до большой скорости и резко затормозить движение;

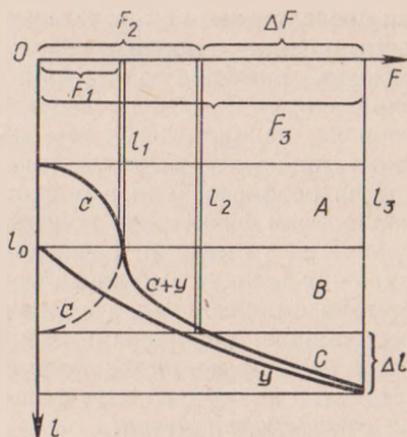


Рис. 19. Законы работы мышцы: A — при сокращении нерастянутой мышцы; B — при использовании энергии сократительного процесса (c) и упругой деформации (y); C — преимущественно за счет упругой энергии (по Н. С. Северцову)

¹ В механике принято потенциальную энергию упругой деформации называть сокращенно упругой энергией.

3) в момент начала возвратного движения *добавлять мощное напряжение мышцы за счет активного сократительного процесса.*

На рисунке 19 видно, что в зоне *A* мышца работает без предварительного растягивания. По мере ее сокращения (укорочения) напряжение мышцы уменьшается. В зоне *B* сокращение мышцы происходит из уже растянутого состояния. Если мышца в этой зоне растянута больше, то и напряжение за счет упругой энергии больше. Сократительный же процесс дает относительно меньший вклад. Наконец, в зоне *C* наблюдается наиболее значительное напряжение при относительно малом дополнительном растягивании мышцы. Мышца при работе в этой зоне характеризуется большей «жесткостью» — *в ответ на малое дополнительное растягивание (Δl) большое дополнительное напряжение (ΔF).* В данной зоне роль превращений химической энергии незначительна.

На этой сильно упрощенной схеме не показана роль вязкости, уменьшающейся от зоны *A* к зоне *C*, не показаны графики, соответствующие разным степеням возбуждения мышцы и другим очень существенным факторам.

Рассмотренные здесь явления называют в практике упругой отдачей мышцы. Действительно, мышца, *накопив упругую энергию в подготовительном движении, отдает ее в последующей преодолевающей работе.* Это может выполняться:

1) в однократном движении «до отказа»: торможение звена (накопление упругой энергии) и его разгон в обратном направлении (использование упругой энергии);

2) в повторяющихся движениях «до отказа»: в каждом последующем цикле, помимо эффекта, описанного в п. 1, имеет место, начиная с момента перехода уступающей работы в преодолевающую, внесение дополнительной энергии (активное сокращение). В ряде последовательных движений осуществляется резонанс, накапливается все больше энергии. Следовательно, *движения становятся быстрее, повышается частота движений (темн).*

Для использования в полной мере упругой отдачи необходима специальная физическая подготовка, направленная на совершенствование растягивания, расслабления, мгновенного «взрывного» напряжения мышцы в нужный момент и увеличения ее силы в соответствии с описанными требованиями. Особенно важно укрепление специальной тренировкой мышц и связочного аппарата. Вместе с тем *необходимо такое построение техники движений, которое позволит в наилучшей мере использовать дополнительно выработанные возможности мышц.*

Наблюдая движения человека, можно заметить, что многие их особенности все время изменяются. Так, изменяется положение его тела в пространстве, расположение звеньев тела, скорости движения и многое другое. Особенности (или признаки) движения позволяют разделить сложное движение на составные части, заметить, как они влияют одна на другую, как помогают достичь цели.

Характеристики движений человека — это те особенности (или признаки), по которым движения различаются между собой.

Когда характеристики измеряют или вычисляют, то это количественные характеристики. Когда характеристики описывают только словами (без измерения), то это качественные характеристики. Педагогу при проведении уроков нечем и некогда измерять и регистрировать количественные характеристики. Ему приходится пользоваться качественными характеристиками; он проводит качественный биомеханический анализ движений каждого ученика.

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

Чтобы понимать характеристики и уметь их получать, надо знать их определения (что это такое) и способ измерения (чем измеряется)¹.

¹ Характеристики, наиболее существенные для данного движения, часто называют параметрами.

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Наблюдая сам факт движений, их внешнюю картину, различают пространственную форму (рисунок, узор) движений и их характер (изменения во времени — быстрее, чаще и т. п.). Количественные характеристики, раскрывающие форму и характер движений, называются кинематическими. Они описывают движения в пространстве и во времени. Соответственно различают характеристики: пространственные, временные, а также пространственно-временные (скорость и ускорение).

§ 16. Системы отсчета расстояния и времени

Движения человека и предметов можно заметить и измерить, только сравнивая их положения с положением выбранного для сравнения тела (тело отсчета). Поэтому все движения рассматриваются как относительные.

16.1. Системы отсчета расстояния

Телом отсчета называют условно выбранное тело, от которого отсчитывают расстояния при определении изучаемого относительного движения.

В мире не существует абсолютно неподвижных тел, все тела движутся. Но одни из них движутся так, что изменения их скорости незаметны при измерениях, — это инерциальные тела отсчета. Изменениями их скорости, ускорениями при решении данной задачи можно пренебречь. Это чаще всего Земля и тела, связанные с нею неподвижно (дорожка, лыжня, гимнастический снаряд).

Другие тела движутся с заметным ускорением, которое существенно влияет на отсчет расстояния, — это неинерциальные тела отсчета (скользящая лыжа, раскачивающиеся кольца). В таких случаях способы расчета и объяснения особенностей движений иные, что обязательно надо учитывать.

Все тела отсчета условно считают абсолютно твердыми, т. е. не изменяющимися при любых воздействиях.

На теле отсчета устанавливают начало и направление изменения расстояния, выбирают единицы отсчета (система отсчета).

Часто пользуются прямоугольными координатами (на плоскости и в пространстве). Точку пересечения взаимно перпендикулярных координатных осей O (начало координат) принимают за начало отсчета.

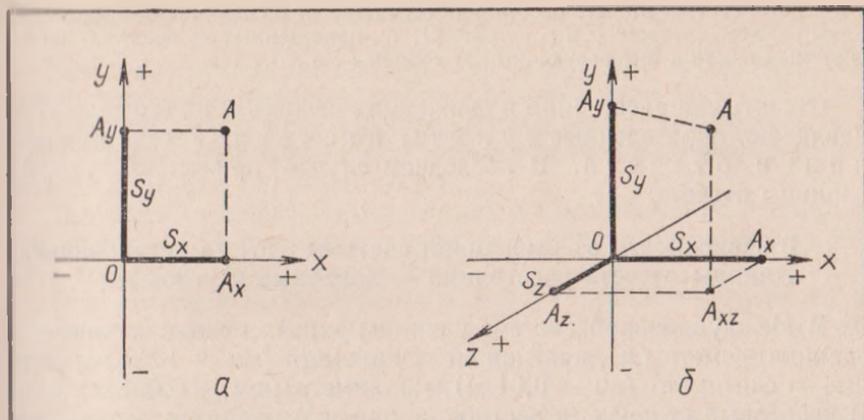


Рис. 20. Системы прямоугольных координат: *a* — на плоскости; *б* — в пространстве

Чтобы определить положение заданной точки тела *A* (пункт отсчета) относительно начала отсчета, определяют ее проекции (A_x , A_y , A_z) на оси координат (рис. 20). Расстояния от начала координат до проекций этих точек на оси координат (OA_x — абсцисса, OA_y — ордината и OA_z — аппликата) определяют положение точки *A* в данной системе отсчета O_{xyz} .

Когда точка *A* движется в пространстве, то изменяются положения ее проекций на оси координат и расстояния этих проекций от начала координат (значения координат).

Существуют и иные системы отсчета расстояния: естественная, векторная и др. В естественной системе расстояния отсчитывают от начала отсчета, выбранного на заранее известной траектории (рис. 21, *a*). В векторной

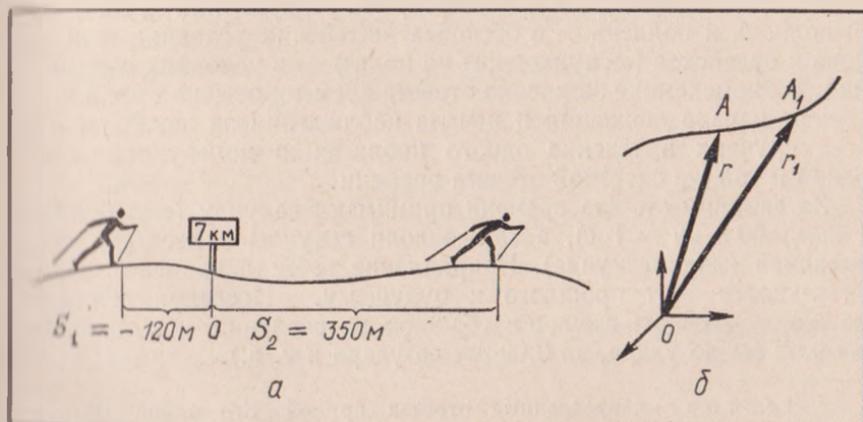


Рис. 21. Системы отсчета расстояний: *a* — естественная; *б* — векторная

т о р н о й системе отсчета расстояния отсчитывают по величинам и направлениям радиус-векторов¹ (r и r_1 — рис. 21, б), проведенных из центра O данной системы отсчета к интересующим нас точкам (A и A_1).

Отсчитывая расстояния в движениях человека, на его теле устанавливают определенные пункты отсчета, а если нужно — линии отсчета. В последнем случае применяют угловые единицы отсчета.

В зависимости от выбранной системы отсчета устанавливают единицы отсчета расстояния — линейные и угловые.

В Международной системе единиц принята основная линейная единица — метр (m), кратная ей — километр ($км — 1000 m$), дольные — сантиметр ($см — 0,01 m$), миллиметр ($мм — 0,001 m$) и др. В некоторых странах (в частности, при измерениях в спорте) еще сохраняются иные, менее удобные единицы: 1 дюйм = 2,54 см; 1 фут = 30,48 см; 1 ярд = 91,44 см; 1 ярд = 3 фута = 36 дюймов. ($1 m = 1,094$ ярда = 3,28 фута = 39,4 дюйма).

Из угловых единиц в биомеханике применяют: а) градус, минута, секунда — при измерении углов (окружность = 360° , градус = $60'$, минута = $60''$); б) оборот — при приближенном подсчете поворотов вокруг оси (оборот = 360° , пол-оборота = 180° и т. д.); в) радиан (для расчетов по формулам) — угол между двумя радиусами круга, вырезающими на окружности дугу, равную по длине радиусу (радиан = $57^\circ 17' 44,8''$; $1^\circ = 0,01745$ рад).

16.2. Системы отсчета времени

В систему отсчета времени входят определенное начало и единицы отсчета.

За начало отсчета времени принимают: а) полночь — во всех учреждениях, на транспорте, на предприятиях связи и т. п.; б) полночь и полдень — в обычных житейских условиях и в) полночь и судейское («секундомеры на ноль») — в условиях соревнований. В биомеханике за начало отсчета времени обычно принимается момент начала движения и начала наблюдения за движением. Во всех случаях в течение одного наблюдения пользуются только одной и той же системой отсчета времени.

За единицу отсчета времени принимают секунду (*сек*; 60 *сек* — 1 *мин*; 60 *мин* — 1 *ч*), а также доли секунды — десятая, сотая, тысячная (миллисекунда). Направление течения времени в действительности — от прошлого к будущему. Исследуя движение, можно отсчитывать время и в обратном направлении — к прошлому (за 0,02 *сек* до удара, за 0,09 *сек* до удара и т. д.).

¹ Вектор — направленный отрезок прямой. Его длина выражает модуль, т. е. численное значение обозначаемой величины (в данном случае расстояния) в определенном масштабе.

4 17. Пространственные характеристики

Пространственные характеристики позволяют определить, каково исходное и конечное положения при движении (к о о р д и н а т а), какова между ними разница, насколько они изменились (п е р е м е щ е н и е) и через какие промежуточные положения выполнилось движение (т р а е к т о р и я).

Движения человека можно изучать в зависимости от поставленных задач, рассматривая его тело как материальную точку, как одно твердое тело или как систему тел.

Тело человека рассматривают как м а т е р и а л ь н у ю т о ч к у в тех случаях, когда перемещение тела намного больше, чем его размеры. Тогда не представляет интереса движение частей тела, и можно пренебречь его вращением.

Тело человека приравнивают к т в е р д о м у т е л у, когда можно не принимать во внимание взаимные перемещения его звеньев и деформации тканей, когда важно лишь учитывать его размеры и расположение (в частности, при изучении условий равновесия, вращения тела и т. д.).

Тело человека изучают как с и с т е м у т е л, когда важны именно особенности движений звеньев тела, влияющие на выполнение двигательного действия.

Поэтому, определяя основные пространственные характеристики движений человека (координаты, перемещения и траектории), заранее уточняют, к какому материальному объекту (точка, тело, система тел) приравнивают в данном случае тело человека.

17.1. Координаты точки, тела и системы

Координата точки — это пространственная мера местоположения точки относительно системы отсчета. Местоположение точки обычно определяют, измеряя ее линейные координаты:

$$s_x, s_y, s_z; \text{ формула размерности}^1 [s] = L.$$

По координатам определяют, где находится изучаемая точка (например, пункт отсчета на теле человека) относительно начала отсчета. Положение точки на линии определяет одна координата, на плоскости — две, в пространстве — три координаты.

Положение т е л а в пространстве можно определить по координатам трех его точек (не лежащих на одной прямой). Можно также определить местоположение одной из точек тела (по ее линейным координатам) и ориентацию тела относительно системы отсчета (по угловым координатам).

Положение с и с т е м ы т е л (звеньев тела человека), которая может изменить свою конфигурацию (взаимное расположение

¹ Формула размерности какой-либо величины показывает, как связаны с ней основные единицы Международной системы единиц (СИ): L — длина (м), M — масса (кг), T — время (сек).

звеньев), определяют по положению каждого звена в пространстве. Удобно использовать при этом угловые координаты (суставные углы); по ним устанавливают позу тела как взаимное расположение его звеньев: Практически нередко сочетают следующее: 1) определение местоположения какой-либо точки (например, общего центра тяжести тела или точки опоры); 2) определение позы (взаимного расположения звеньев); 3) определение ориентации тела (по линии отсчета, проведенной в теле).

Изучая движение, нужно определить: 1) начальное положение, из которого движение начинается, 2) конечное положение, в котором движение заканчивается, и 3) ряд мгновенных (непрерывно сменяющихся) промежуточных положений, которые принимает тело при выполнении движения. Кинокадры какого-либо упражнения показывают как раз такие положения. С точки зрения механики описать движение — это значит определить положение в любой момент времени, определить координаты опознавательных точек тела, по которым изучают ход движения в пространстве.

17.2. Перемещение точки, тела и системы

Перемещение точки — это пространственная мера изменения местоположения точки. Перемещение (линейное) определяют, измеряя разность координат в моменты начала и окончания движения (в одной и той же системе отсчета расстояния):

$$\Delta^1 s = s_{\text{кон}} - s_{\text{нач}}; [\Delta s] = L.$$

Иначе говоря, линейное перемещение точки — это результат движения, т. е. величина и направление отрезка прямой от начального положения точки до конечного. Поэтому перемещение — величина векторная; оно определяет размах и направление движения. В случае, когда в результате движения точка вернулась в исходное положение, перемещение равно нулю.

Перемещение тела (линейное) в поступательном движении можно определить по линейному перемещению любой его точки. Ведь в поступательном движении любая прямая, соединяющая какие-либо две точки тела, движется параллельно самой себе (либо прямолинейно, либо криволинейно). Все точки тела движутся одинаково, поэтому достаточно из координаты конечного положения любой точки тела вычесть соответствующую координату начального положения, чтобы определить перемещение всего тела.

Перемещение тела (угловое) во вращательном движении можно определить по разности угловых координат по углу поворота. В теле определяют условную

¹ Знак Δ (греческая буква «дельта») обозначает здесь приращение величины (в данном случае расстояния).

линию отсчета, перпендикулярную оси вращения (рис. 22). Эта линия при вращении повернется в плоскости поворота вокруг оси на угол, равный разности угловых координат конечного и начального положений:

$$\Delta\varphi = \varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}; [\varphi] = L^0.$$

Поступательное и вращательное движение — простейшие виды движения тела. Любые более сложные движения тела можно представить как результат геометрического сложения поступательного и вращательного движения (например, вокруг центра тяжести). При простейшем вращательном движении по любым двум неподвижным точкам тела можно определить положение оси вращения. Все точки, лежащие на ней, неподвижны. На оси лежат центры всех дуг тех окружностей, которые описывают точки, не лежащие на оси. Только в том случае, когда неподвижная ось вращения проходит через центр тяжести тела, движение нельзя представить как сумму более простых движений. Поэтому в движениях человека, как правило, сочетаются поступательные и вращательные простейшие движения, выполняемые совместно, в одно и то же время.

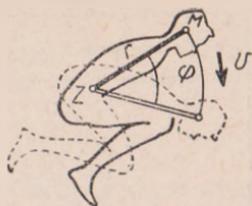


Рис. 22. Угловое перемещение тела

17.3. Траектория точки

Траектория точки — это пространственная мера движения (воображаемый след движущейся точки)¹. Траекторию определяют, устанавливая ее длину, кривизну и ориентацию в пространстве.

Пространственный рисунок движения точки дает ее траектория. Длина траектории показывает, каков путь точки² (рис. 23):

$$[l] = L.$$

Путь точки в прямолинейном движении (направление не изменяется) равен расстоянию от исходного до конечного положения. Путь точки в криволинейном движении (направление изменяется) равен длине кривой линии от начального до конечного положения.

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

$$k = \frac{1}{R}; [R] = L^{-1}.$$

¹ След при движении оставляет точка, поэтому нужно говорить о траектории точки, а не движения.

² Путь — это длина траектории, поэтому не следует говорить «длина пути».

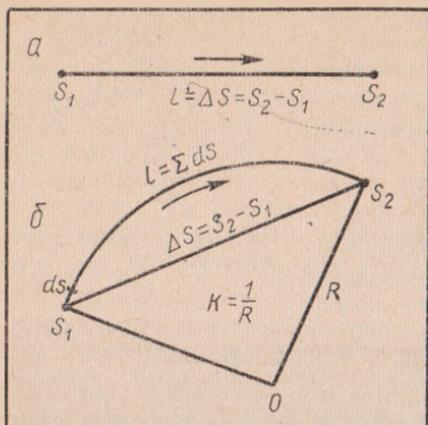


Рис. 23. Элементы траектории: l — длина; Δs — перемещение; ds — элементарное перемещение; k — кривизна; R — радиус кривизны

начальное положение, конечное и все промежуточные.

Чтобы определить пространственный рисунок движения тела, изучают траектории его точек. В поступательном движении траектории всех точек одинаковы, поэтому достаточно определить траекторию любой точки тела. Во вращательном (простейшем) движении траектория любой точки, не лежащей на оси, также определяет направление и размах движения тела. При сочетании поступательного и вращательного движения (сложное движение) направление, размах и форма движения тела определяются с учетом составляющих простых движений.

Пространственный рисунок движения системы тел (тела человека) дают траектории точек звеньев системы, а также траектория ее общего центра тяжести (ОЦТ). Рисунок движения точек бывает необычайно сложным, изменяющимся непрерывно. Определить закон движения — способ перехода в пространстве и времени из начального положения в конечное — трудно.

В машинах, характеризующихся заранее заданной определенностью движений, можно и обязательно знать закон движения. В биомеханических системах, характеризующихся неопределенностью движений в сочленениях, стараются добиваться требуемой определенности, но возможности найти закон движения в целом очень невелики. Они несколько больше в спорте, когда техническое мастерство проявляется нередко именно в точном воспроизведении заранее заданных, детально определенных движений.

§ 18. Временные характеристики

Временные характеристики раскрывают движение во времени: когда оно началось и закончилось (момент времени), как долго длилось (длительность движения), как часто выполнялись движения (темп), как они были построены во времени (ритм).

18.1. Момент времени

Момент времени — это временная мера положения точки, тела и системы. Момент времени определяют промежутком времени до него от начала отсчета:

$$[t] = T.$$

Моментами времени обозначают, например, начало и окончание движения или какой-либо его части (фазы). По моментам времени определяют длительность движения.

18.2. Длительность движения

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

$$\Delta t = t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}; [\Delta t] = T.$$

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

18.3. Темп движений

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

$$N = \frac{1}{\Delta t}; [N] = T^{-1}.$$

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

Темп — величина, обратная длительности движений. Чем больше длительность каждого движения, тем меньше темп, и наоборот.

В повторяющихся (циклических) движениях темп может служить показателем совершенства техники. Например, частота движений у лыжников, альпинистов, гребцов высокой квалификации (при более высокой скорости передвижения) больше, чем у менее подготовленных. Известно, что с утомлением темп движений изменяется: он может повышаться (например, при ускорении шагов в беге) или понижаться (например, при неспособности поддерживать необходимый темп в лыжном ходе).

18.4. Ритм движений

Ритм движений — это временная мера соотношения частей движений. Он определяется по соотношению промежутков времени (длительностей частей движений):

$$\Delta t_{2-1} : \Delta t_{3-2} : \Delta t_{4-3} \dots$$

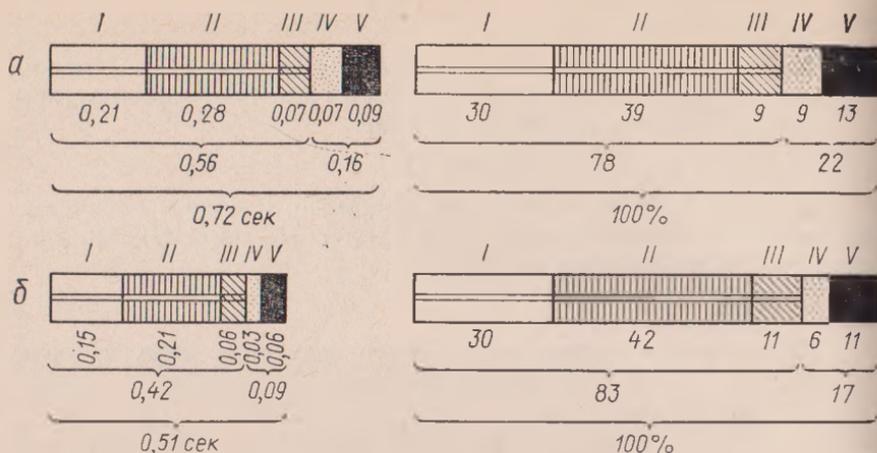


Рис. 24. Ритм движений в скользящем шаге на лыжах: а — у высококвалифицированных лыжников; б — у сильнейших лыжников мира; фазы I—III — скольжение, фазы IV—V — стояние лыжи (по Х. Х. Гроссу)

Ритм хорошо характеризует, например, отношение времени опоры к времени полета в беге или отношение времени амортизации (сгибания колена) к времени отталкивания (выпрямления ноги) при опоре. Примером соотношения длительности может служить ритм скользящего шага на лыжах (соотношение длительности пяти фаз шага) (рис. 24).

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

При овладении упражнениями часто лучше задать ритм, чем подробно описывать детали движений; это поможет быстрее понять особенности изучаемого упражнения, его построение во времени.

Ритм бывает постоянный и переменный. В каждом движении есть различающиеся части, например, подготовительные и исполнительные (основные) движения, разгон и торможение и т. п. Значит, ритм можно определить в каждом упражнении. Так называемые «неритмичные» движения — это не лишённые ритма движения, а движения либо с отклонениями от заданного ритма, либо нерациональные движения, что отражается на ритме. Иначе говоря, неритмичные движения — это движения с неопределённым или неправильным ритмом.

§ 19. Пространственно-временные характеристики

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

19.1. Скорость точки и тела

Скорость точки¹ — это пространственно-временная мера движения (быстрота изменения положения). Скорость измеряется отношением пройденного пути (с учетом его направления) к затраченному времени:

$$V_{\text{ср}} = \frac{\Delta S}{\Delta t}; [V] = LT^{-1}.$$

Скорость — величина векторная; она характеризует быстроту (численное значение — модуль) и направление движения. При постоянной скорости она одинакова в любой момент времени. При переменной скорости отношение отрезков пути к времени их прохождения изменяется. Так как в движениях человека чаще всего движение переменное (неравномерное и криволинейное), для разбора упражнений нужно определять мгновенные скорости.

Мгновенная скорость точки — это мера быстроты изменения положения точки в данный момент времени. Она измеряется пределом отношения длины перемещения к его времени, когда промежутки времени стремятся к нулю.

$$V_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta T}; [V] = LT^{-1}.$$

Мгновенную скорость можно представить себе как такую, которую сохранило бы тело с данного момента времени, если бы на него перестали действовать все силы. Средняя скорость — это такая постоянная скорость, с которой точка во все заданное время прошла бы рассматриваемый путь за заданное или действительно затраченное время.

Скорость точки (линейная) в прямолинейном движении направлена по траектории, в криволинейном — по касательной к траектории в каждой рассматриваемой точке.

Скорость тела определяют по скоростям его точек. При поступательном движении линейные скорости всех точек тела одинаковы по величине и направлению. При вращательном движении, чем больше расстояние точки тела от оси вращения (т. е. чем больше радиус), тем больше ее линейная скорость. В твер-

¹ Надо всегда указывать, скорость какого объекта определяется (например скорость бегуна), а не «скорость движения».

дом теле отношение линейной скорости каждой точки к ее радиусу равно угловой скорости тела (в радианах). Угловая скорость (ω) для всех точек тела одинакова:

$$\frac{V_1}{r_1} = \frac{V_2}{r_2} = \frac{V_3}{r_3} \dots = \frac{V_n}{r_n} = \omega; [\omega] = L^0 T^{-1}.$$

Значит, *линейная скорость любой точки вращающегося тела равна его угловой скорости, умноженной на радиус вращения этой точки (ее расстояние до оси вращения):*

$$V = \omega r.$$

Скорость системы тел, изменяющей свою конфигурацию, нельзя определить таким же способом, как у твердого тела. В этом случае можно определить линейную скорость общего центра тяжести системы. Часто определяют линейные скорости определенных точек звеньев тела (проекций осей суставов на поверхность тела). Кроме того, при изменениях позы определяют угловые скорости звеньев тела в суставах; эти скорости изменяются по ходу движения. Для биомеханического анализа нужно в каждом случае хорошо обдумать, какие скорости и каких звеньев следует определить.

19.2. Ускорение точки и тела

Ускорение точки — это пространственно-временная мера изменения движения (быстрота изменения скорости по величине и направлению). Ускорение измеряется отношением изменения скорости к затраченному на него времени:

$$a_t = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t}; [a] = LT^{-2}.$$

Ускорение — величина векторная. Она характеризует быстроту изменения величины скорости и ее направления.

Ускорение точки положительное, если величина ее скорости становится больше (без изменения ее направления); положительное ускорение направлено в ту же сторону, что и скорость. Ускорение отрицательное, если величина скорости становится меньше (без изменения ее направления). Ускорение отрицательное направлено в сторону, противоположную скорости. Когда величина скорости остается прежней, но изменяется ее направление, имеет место нормальное ускорение (перпендикулярное направлению скорости). Это случай криволинейного движения (рис. 25).

В криволинейном движении точки ее положительные и отрицательные ускорения направлены по касательной к траектории (тангенциально), а нормальное (радиальное) — вдоль радиуса кривизны (центростремительное — к центру кривизны траектории, центробежное — от центра).

Различают линейное ускорение тела (в поступательном движении) и угловое (во вращательном движении). Отношение линейного ускорения каждой точки вращающегося тела к ее радиусу равно угловому ускорению (ϵ) в радианах в секунду в квадрате. Оно одинаково для всех точек вращающегося тела:

$$\frac{a_1}{r_1} = \frac{a_2}{r_2} = \frac{a_3}{r_3} \dots = \frac{a_n}{r_n} = \epsilon; [\epsilon] = \text{L}^0\text{T}^{-2}.$$

Значит, линейное ускорение любой точки вращающегося тела равно его угловому ускорению, умноженному на радиус вращения этой точки:

$$a = \epsilon r.$$

Ускорения системы тел, изменяющей свою конфигурацию, определяются еще сложнее, чем скорости (см. 20.2).

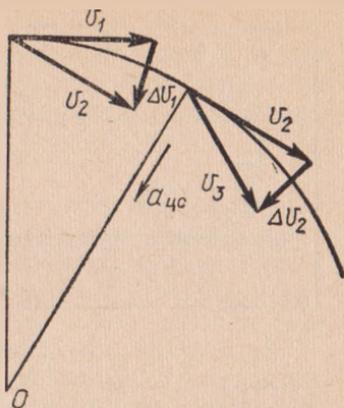


Рис. 25. Изменение направления скорости в криволинейном движении: v_1 и v_2 — начальная и конечная скорости; Δv — приращение скорости; $a_{цс}$ — нормальное (центростремительное) ускорение

20. Кинематические особенности движений человека

В биокинематических цепях тела человека движение может передаваться от звена к звену. Таким образом, движение, например, кисти при броске мяча может быть результатом движения ног и туловища, а также движений в суставах руки. Движение кисти в этом случае как бы составляется из движений и других звеньев. Такое движение в биомеханике называют составным.

20.1. Составные движения

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

В простейших случаях в механике складываются два или более поступательных движения (рис. 26, а). В теле человека таких движений не бывает, так как почти во всех суставах звенья движутся вокруг осей сочленений.

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

Сложнее составные движения, в которых имеются составляющие движения, вращательные (по дуге окружности) и поступательные (вдоль ее радиуса) (рис. 26, б).

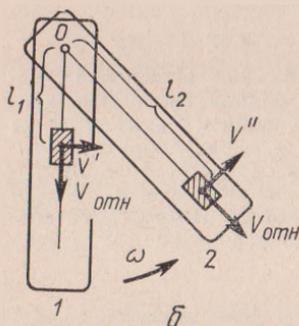
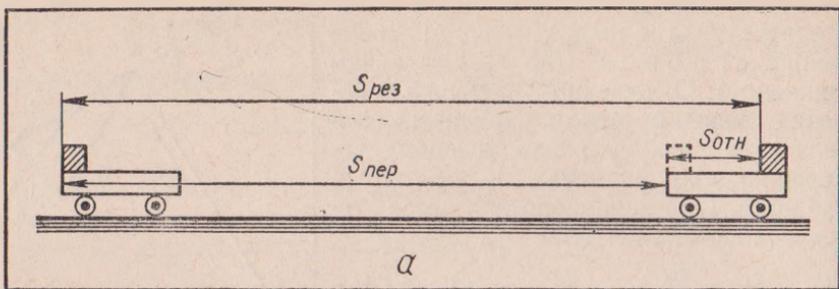


Рис. 26. Составные движения: а — два поступательных ($s_{пер}$ и $s_{отн}$); б — вращательное (ω) и поступательное ($v_{отн}$)

Когда в составном движении принимают участие два тела, то обычно составляющие движения называют переносными и относительными.

На рисунке 26, а платформа как бы «переносит» на себе движение по ней груза; движение платформы переносное. Движение же груза по платформе относительно системы отсчета, связанной с самой платформой, относительное. Тогда движение груза в неподвижной системе отсчета (Земля) результирующее; это результат двух составляющих движений.

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

В случае приближения звеньев к оси вращения или отдаления от нее, кроме ускорений углового (во вращательном переносном движении) и линейного (в радиальном относительном движении), возникает еще добавочное (или поворотное) ускорение (ускорение Кориолиса). Когда биокинематическая цепь укорачивается, поворотное ускорение звеньев, приближающихся к оси вращения, направлено навстречу вращению, а когда удлиняется — в сторону вращения. От кориолисова ускорения зависит убыстрение и замедление углового поворота цепи (см. гл. V).

В биокинематических цепях с большим количеством степеней свободы движений кинематика очень сложна. Каждое движение в сочленениях незамкнутой цепи (например, свободной конечности) влияет на траектории, скорости и ускорения более отдаленных звеньев. В этих случаях характеристики составных движений легче регистрировать, определять на практике, чем рассчитывать. Чаще всего определить их заранее просто невозможно — слишком уж много возможных вариантов.

В зависимости от изменения направления скоростей и их сложения, движения звеньев тела человека могут быть возвратно-вращательными, возвратно-поступательными и круговыми.

Строение сочленений не позволяет выполнять движения в суставах «по принципу колеса», т. е. делать неограниченный поворот вокруг оси сустава в одну сторону. Ограничители движений (костные образования, мягкие ткани суставов, мышцы) позволяют движения в ряде суставов в пределах не более примерно половины окружности, поэтому почти все движения имеют возвратный характер. Возвратно-вращательные движения напоминают движения маятника (колебательные движения) вокруг оси, расположенной поперек биокинематической цепи (сгибание — разгибание) или продольно (супинация — пронация).

Определенное согласование вращательных движений в различных суставах биокинематической цепи позволяет конечным звеньям двигаться поступательно (кость боксера при вращательных движениях в плечевом и локтевом суставах; туловище бегуна при отталкивании ногой). Пример движений возвратно-поступательного характера — работа пилой, напильником.

Наконец, в шаровидных суставах возможно круговое движение, когда продольная ось звена описывает коническую поверхность. Только оно и может выполняться без обязательных возвратных движений.

Исключительное богатство двигательного аппарата человека степенями свободы движений дает бесчисленное множество возможных траекторий всех звеньев тела, но только малая часть из них вызвана потребностями деятельности человека. Эти движения сформировались в процессе эволюции. Они оказывают влияние на формирование опорно-двигательного аппарата. Наименее строго определены бытовые движения. Во многих видах труда требования более точны. В физических упражнениях их определенность специально установлена. Больше всего разработаны требования к движениям в спорте. Как правило, это движения, при которых наиболее целесообразно используются законы биомеханики, физиологии и других наук (рациональные движения), это самые экономичные движения.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Чтобы раскрыть причины изменения движений, механизм движений, используют динамические характеристики. К ним относятся инерционные характеристики (особенности самих движущихся тел) и силовые (особенности взаимодействия тел).

§ 21. Инерционные характеристики

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

21.1. Понятие об инертности

Все физические тела обладают свойством инертности (или инерции)¹, которое проявляется в сохранении движения, а также в особенностях изменения его под действием сил.

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

Говоря проще, тело сохраняет свою скорость, а также под действием внешних сил изменяет ее. Сохранение скорости в реальных условиях возможно только тогда, когда все внешние силы, приложенные к телу, взаимно уравновешены. Во всех остальных случаях неуравновешенные внешние силы изменяют скорость тела в соответствии с мерой его инертности.

21.2. Масса тела

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

$$m = \frac{F}{a}; [m] = M.$$

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).

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 тела² (см. 25.1).

¹ Инерция (лат.), или инертность, — косность, бездеятельность.

² Центр масс совпадает с центром инерции как точкой приложения параллельных сил инерции всех точек тела.

11.1. Момент инерции 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:

$$I = \frac{M_z(F)}{\epsilon} = \sum mr^2; [I] = ML^2.$$

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 $M_z(F)$ вызовет меньшее угловое ускорение (ϵ). Инерционное сопротивление быстро увеличивается с отдалением 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 $M_z(F)$; в правой части сначала мера инертности — масса (m) или момент инерции (I), и далее мера изменения скорости — ускорение линейное (a) или угловое (ϵ).

Поступательное движение

$$F = ma.$$

Вращательное движение

$$M_z(F) = I\epsilon; \\ Fr = mR_{ин}^2\epsilon.$$

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 ($R_{ин}$).

Величина $R_{ин}$ 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 ($R_{ин}$). Он позволяет сравнивать различные распределения массы тела относительно разных осей вращения.

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

§ 22. Силовые характеристики

22.1. Сила и момент силы

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

$$F = ma; [F] = MLT^{-2}.$$

Измерение силы, так же как и массы, основано на втором законе Ньютона (см. 21.2). Сила, приложенная к телу, вызывает его ускорение. Источником силы служит другое тело, следовательно, взаимодействуют два тела. При этом имеется «действие» второго тела на первое и «противодействие» первого тела, приложенное ко второму.

По третьему закону Ньютона *действию всегда существует равное противодействие, иначе говоря, действия двух тел друг на друга всегда равны и противоположны по направлению*. Однако этот закон справедлив только для инерциальных систем отсчета (см. 16.1). При применении неинерциальных систем отсчета, помимо взаимодействий тел, учитывают еще «фиктивные» силы инерции, которые возникают не по третьему закону Ньютона (см. 23.2).

Поскольку действие и противодействие приложены к разным телам, их нельзя складывать, заменять одной равнодействующей.

Хотя чаще всего говорят про силу и результат ее действия, это применимо только к простейшему поступательному движению тела. В движениях человека, где все движения частей тела вращательные, для определения момента силы необходимо учитывать расстояние от линии действия силы до оси вращения (плечо силы).

Момент силы — это мера вращающего действия силы на тело. Он определяется произведением силы на ее плечо¹:

$$M_o(F) = Fd; [M_o(F)] = ML^2T^{-2}.$$

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

Чтобы сила могла проявить свое вращающее действие, она должна иметь плечо (рис. 27, а). Иначе говоря, она не должна проходить через ось вращения.

Если сила лежит не в плоскости, перпендикулярной оси, находят составляющую силы, лежащую в этой плоскости (F_{\perp}) (рис. 27, б); остальные составляющие не влияют на момент силы относительно оси Z . Понятно, что сила, совпадающая с осью или параллельная ей, также не имеет плеча относительно оси, а следовательно, нет ее и момента.

¹ Плечо силы — расстояние от центра момента (точки, относительно которой определяется момент силы) до линии действия силы.

Тяга каждой мышцы образует момент силы относительно оси соответствующего сустава. Силы, извне приложенные к телу во время движения, обычно не проходят через его общий центр тяжести, так что возникают моменты сил. Однако силу, не проходящую через точку (например, лежащую на оси или отдельную — ОЦТ), можно привести к этой точке. Тогда видно, что такая сила вызывает не только угловое, но и линейное ускорение тела.

Так, к оси локтевого сустава (рис. 28, а) приложим силу, одинаковую по величине и направлению с силой тяги сгибателя предплечья (F_M). Чтобы не изменилась действительная картина сил, добавим к этой же точке равную по величине и противоположно направленную силу (F_D). Тогда сила тяги мышцы (F_M) и добавленная сила (F_D) образуют пару сил, сгибающую предплечье в локтевом суставе, а сила (F_M) будет «толкать» локтевой сустав вверх.

Сделав такое приведение силы опорной реакции (R) к ОЦТ прыгуна в длину в момент приземления (рис. 28, б), увидим, как добавленная сила (F_D) и опорная реакция (R) вызовут момент, опрокидывающий прыгуна вперед (перекат), а «перенесенная» (F_M) сила замедлит продвижение ОЦТ вперед и вниз.

Определение только силы или момента силы, если известна масса или момент инерции, позволит узнать только ускорение, т. е. как быстро изменяется скорость. Но этого еще мало, когда надо узнать, насколько именно изменится скорость. Для этого должно быть известно, как долго или на каком пути была приложена сила. Иначе говоря, следует узнать импульс силы (или ее момента) либо работу силы (или ее момента).

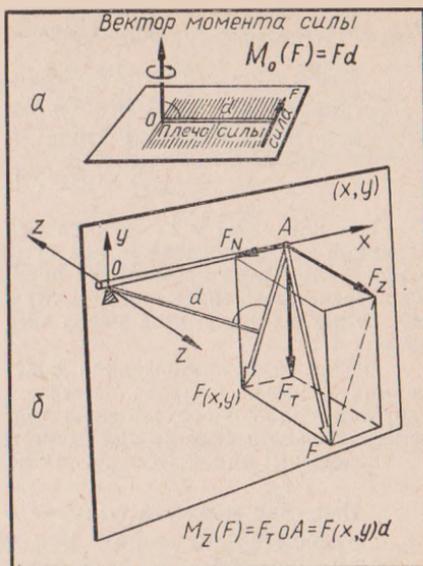


Рис. 27. Момент силы: а — в плоскости; б — в пространстве

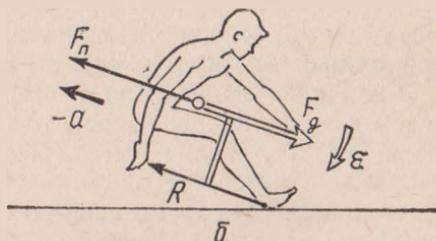
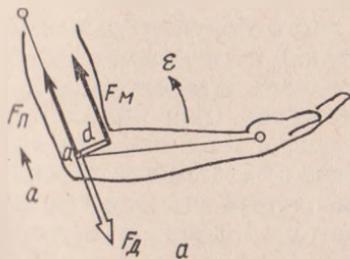


Рис. 28. Приведение силы к точке: а — при сгибании предплечья; б — при перекате прыгуна в длину

22.2. Импульс силы и импульс момента силы

Импульс силы — это мера воздействия силы на тело за данный промежуток времени (в поступательном движении). Он равен произведению силы¹ и продолжительности ее действия:

$$S = F \Delta t; [S] = MLT^{-1}.$$

Так как силы в движениях человека обычно переменны, импульс переменной силы определяют как сумму элементарных импульсов. Для этого берут столь малые промежутки времени, которые (в их границах) позволяют пренебречь изменением силы. В случае одновременного действия нескольких сил сумма их импульсов равна импульсу их равнодействующей за то же время.

Любая сила, приложенная даже в малые доли секунды (например, удар по мячу), имеет импульс. Именно импульс силы определяет изменение скорости; силой же обусловлено только ускорение. Разумеется, что время действия силы в статике при отсутствии движений (когда все силы взаимно уравновешены) никакого значения не имеет.

Импульс момента силы — это мера воздействия момента силы относительно данной оси за данный промежуток времени (во вращательном движении). Он равен произведению момента силы и продолжительности его действия:

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

Если импульс силы определяет прирост линейной скорости, то от импульса момента силы зависит изменение угловой скорости.

22.3. Работа силы и работа момента силы

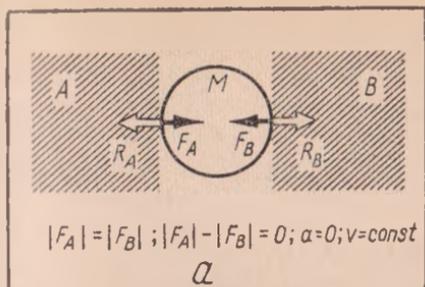
Работа силы — это мера воздействия силы на тело на данном пути (в поступательном движении). Она равна произведению модуля силы (приложенной по линии направления движения) и перемещения точки приложения силы:

$$A = F \Delta s; [A] = ML^2T^{-2}.$$

Так как силы в движениях человека обычно переменны, а движения точек тела криволинейны, работу силы определяют как сумму элементарных работ силы. Для этого берут столь малые участки пути, при которых (в их пределах) путь можно считать прямолинейным, а силу — постоянной.

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

¹ При условии, если сила не изменяется во времени.



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

$$A_z = M_z(F) \varphi; [A_z] = ML^2T^{-2}.$$

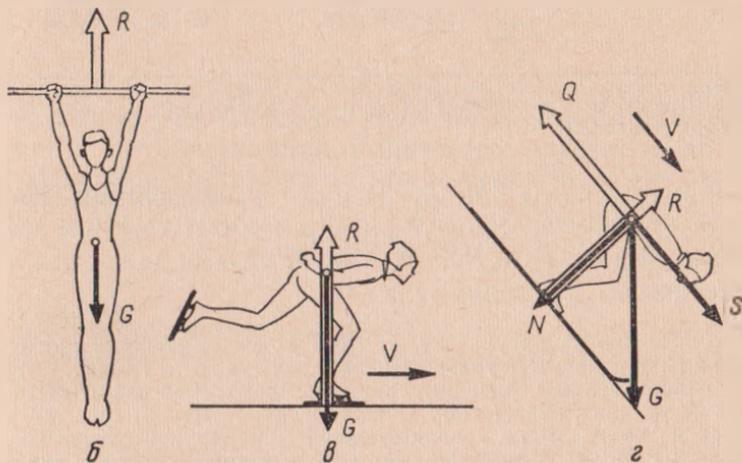


Рис. 29. Статическое действие силы: а — уравнивание силы F_A и F_B ; б, в, г — уравнивание силы тяжести: б — в покое, в, г — в движении

Работа момента силы, так же как и работа силы, может быть положительной и отрицательной.

22.4. Действие силы

Сила, действующая статически, уравновешена другой силой и вызывает не ускорение, а только деформацию тела. Силу, действующую статически, измеряют уравновешивающей ее силой.

Если на данное тело M действуют с одинаковыми силами F_A и F_B два тела A и B (рис. 29, а), то эти силы взаимно уравновешиваются. Обе силы действуют статически, ускорения нет, скорость тела M не изменяется.

Каждая из этих сил (действие) имеет равное и противоположное противодействие (реакции R_A и R_B). В случае уравнивания

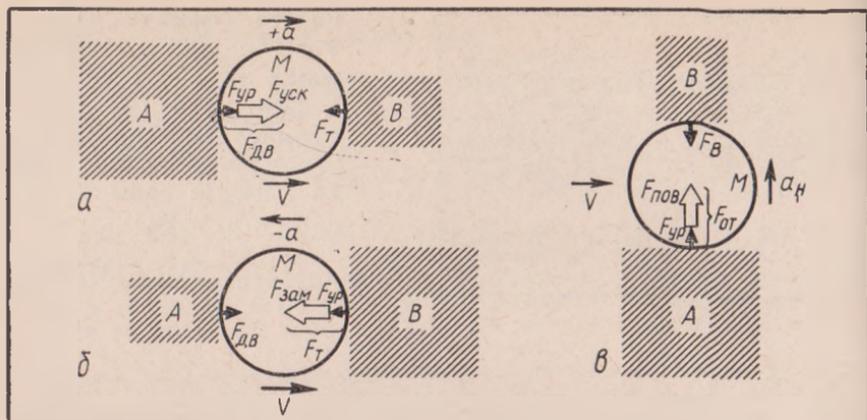


Рис. 30. Динамическое действие силы; а — ускоряющей; б — замедляющей; в — поворачивающей

сил имеются три тела (M , A , B) и два взаимодействия. Подчеркнем, что уравниваются F_A и F_B . Соответствующие действия и противодействия F_A и R_A , F_B и R_B не уравниваются, так как они приложены к разным телам.

Как показано на рисунке 29, б, силы могут действовать статически в покое (опорная реакция R уравнивает силу тяжести гимнаста G), в движении, направленном перпендикулярно уравнивающей силе (опорная реакция R уравнивает силу тяжести конькобежца G) (рис. 29, в), и в движении по направлению уравниваемой силы (сопротивление воздуха и трение лыж о снег Q уравнивают при постоянной скорости спуска скатывающую составляющую S силы тяжести лыжника G), а опорная реакция (R) — нормальную составляющую (N) (рис. 29, г). Уравненная сила независимо от покоя или направления движения не изменяет скорости тела.

Во всех случаях уравниваемая сила обуславливает только деформацию того тела, к которому она приложена. Не лишне заметить, что при взаимном уравнивании статически действуют обе силы.

Сила, действующая динамически, не уравновешена другой силой. Она вызывает ускорение, а также деформацию тела, к которому приложена. Силу, действующую динамически, измеряют по изменению движения тела, к которому она приложена.

Сила $F_{дв}$, приложенная к телу M (рис. 30), вызовет ускорение, зависящее от массы этого тела. Однако в реальных условиях необходимо учитывать, что всегда существуют другие тела (Земля, среда — воздух, вода и др.), которые могут оказывать тормозящее действие. Поэтому в принципе и здесь не будет взаимодействия только двух тел (см. 25.1).

Сила, действующая динамически (действие), вызывает ускорение, а также противодействие ускоряемого тела — силу инерции. Она равна силе, вызывающей ускорение, но направлена противоположно ($F_{ин} = -ma$) и приложена к ускоряющему телу, источнику динамической силы. Зная массу ускоряемого тела и его ускорение под действием динамической силы, определяют ее величину и направление.

Мерами действия силы могут быть еще импульс силы (с учетом времени ее действия) или работа силы (с учетом пути ее действия). В этих случаях судят о действии силы по изменению количества движения или по изменению кинетической энергии.

Количество движения — это мера поступательного движения тела, характеризующая его способность передаваться другому телу в виде механического движения. Количество движения тела измеряется произведением массы тела и его скорости:

$$K = mv; [K] = MLT^{-1}.$$

Количество движения тела может быть определено, например, по тому, как долго оно движется до остановки под действием измеряемой тормозящей силы.

Кинетическая энергия тела — это мера его механического движения. Кинетическая энергия может превращаться в потенциальную энергию или в другие виды энергии и при поступательном движении измеряется половиной произведения массы тела и квадрата его скорости:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}; [E_k] = ML^2T^{-2}.$$

Кинетическую энергию тела можно определить, например, по тому, как далеко оно движется до остановки под действием измеряемой тормозящей силы.

При изучении движений человека, как уже не раз отмечалось, следует использовать характеристики вращательного движения. Во всех формулах поступательного движения силу F заменяют моментом силы $M_z(F)$, путь s — углом поворота φ , массу m — моментом инерции I , линейную скорость v — угловой скоростью ω и получают соответствующие формулы для вращательного движения.

В таблице 2 приведены характеристики, относящиеся к поступательному и вращательному движению.

Действие силы и изменение движения

| Условия задачи о действии силы | Мера действия сил | | Меры изменения движения | |
|--------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| | поступательное движение | вращательное движение ¹ | поступательное движение | вращательное движение ¹ |
| Действие силы во времени | Импульс силы | Импульс момента силы | Количество движений | Кинетический момент |
| Действие силы в пространстве | Работа силы | Работа момента силы | Кинетическая энергия | Кинетическая энергия |

¹ Вращательное движение вокруг оси z .

Следует обратить внимание на то, что определенное действие силы вызывает соответствующее изменение движения:

$$Ft = m(v_t - v_0); \quad M_z(F)t = I(\omega_t - \omega_0);$$

$$F_s = \frac{m(v_1^2 - v_0^2)}{2}; \quad M_z(F)\varphi = I \frac{\omega_1^2 - \omega_0^2}{2}.$$

Ранее были рассмотрены кинематические меры изменения движения (скорость и ускорение). Здесь же добавлены и динамические меры изменения движения (количество движения, кинетический момент, кинетическая энергия). Все они отражают взаимосвязь силы и движения при разных условиях.

Однако следует подчеркнуть, что это характеристики движения абсолютно твердого тела, не учитывающие особенностей биомеханической системы тела человека. Они помогают понять физические основы движений, но еще недостаточны для изучения специфических особенностей движений человека.

§ 23. Силы, внешние относительно тела

Все силы, которые приложены к телу человека, нужно разделить на две группы: внешние и внутренние относительно него.

Внешние силы вызваны действием внешних для человека тел (опора, снаряды, другие люди т. д.). Эти силы можно мысленно перенести к центру тяжести тела человека; тогда видно, что они могут обусловить изменение траектории и скорости ОЦТ. Без них его движение измениться не может.

Внутренние силы возникают при взаимодействии частей тела человека друг с другом. Эти силы нельзя перенести к центру тяжести тела. Они сами по себе не могут изменить его движения. Но только внутренними силами (в результате работы мышц) человек управляет непосредственно.

Разделение на внешние и внутренние силы относительно. Всегда надо ставить вопрос: относительно какого тела или системы тел выполняется такое разделение? Так, сила тяги мышцы относительно всего тела человека внутренняя. Но она же относительно кости, к которой приложена ее тяга, внешняя, и в качестве внешней для кости сила изменяет ее движение.

Все силы, действующие извне на тело человека, возникают при контакте с соответствующими внешними телами (и средой в том числе) — это **к о н т а к т н ы е** силы. Лишь силы тяжести могут действовать без контакта, на расстоянии (**д и с т а н т н ы е** силы).

23.1. Сила тяжести и вес

Сила тяжести тела — это мера его притяжения к Земле (с учетом влияния вращения Земли):

$$G = mg; [G] = MLT^{-2}.$$

По закону всемирного тяготения все тела на Земле испытывают силу ее притяжения. Эта сила зависит от масс Земли и притягиваемого тела, а также от расстояния между ними.

Расстояние от центра Земли до ее поверхности на полюсах меньше (6357 км), на экваторе больше (6378 км), поэтому сила тяготения на экваторе на 0,2% меньше, чем на полюсах.

Так как Земля вращается вокруг своей оси, тела на ее поверхности испытывают действие центробежной силы инерции (см. 23.2). Она больше всего на экваторе и уменьшает там силу тяготения еще на 0,3% (по сравнению с положением на полюсах).

Итак, *сила тяжести равна геометрической сумме сил тяготения (гравитационной) и центробежной (инерционной)* (рис. 31, а).

На каждое звено и на все тело человека действуют всегда силы тяжести как внешние силы, вызванные притяжением и вращением Земли.

Когда тело покоится на опоре (или подвешено), тогда сила тяжести, приложенная к телу, прижимает его к опоре или отрывает от подвеса. Это действие тела на опору (верхнюю или нижнюю) измеряется весом тела (рис. 31, б, в, г).

Вес тела (статический) — это мера его воздействия в покое на покоящуюся же опору (подвес), мешающую его падению.

Значит, сила тяжести и вес тела не одна и та же сила. Вес всего тела человека приложен не к нему самому, а к его опоре. Правда, вес головы действует на шейные позвонки; здесь взаимодействуют голова и позвоночный столб; таким образом, вес головы относительно всего тела человека — сила внутренняя, относительно же позвоночника — внешняя. Вес, например, штанги, удерживаемой человеком, для него, конечно, внешняя сила.

Можно определить силу тяжести на рычажных весах по весу тела. Тогда сила тяжести и тела, и гирь в разных пунктах земного

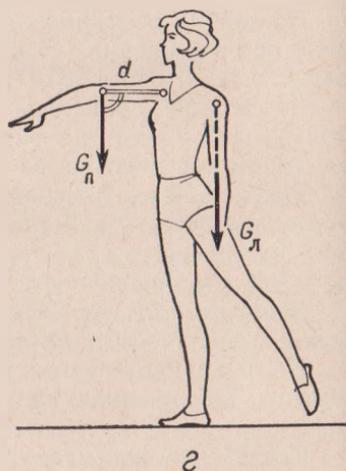
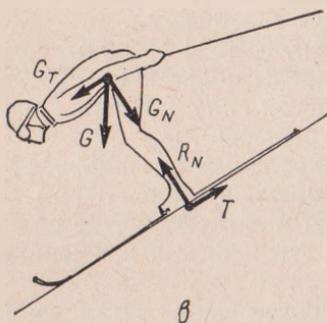
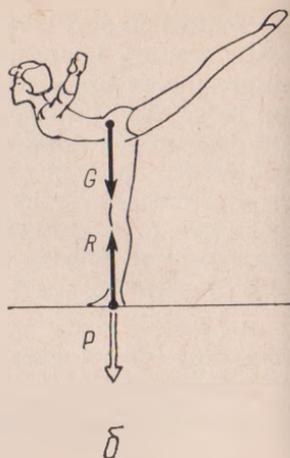
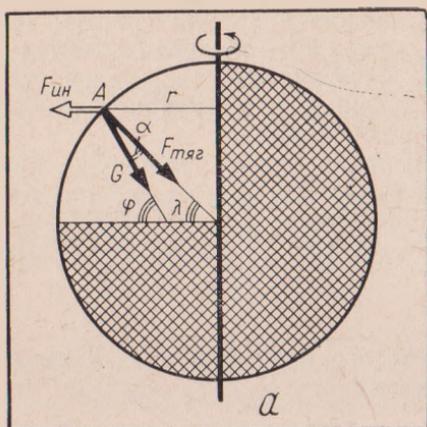


Рис. 31. Сила тяжести (G): a — ее гравитационная ($F_{тяг}$) и инерционная ($F_{ин}$) составляющие; $б$ — сила тяжести (G), вес тела (P) и опорная реакция (R); $в$ — на наклонной плоскости силу тяжести (G) можно разложить на нормальную (G_N) и тангенциальную (G_T) составляющие; $г$ — внутренние для тела сила тяжести левой руки ($G_л$) и момент силы тяжести правой руки ($G_п d$)

шара изменится одинаково, поэтому вес тела, измеренный таким способом, везде будет одинаков. Можно взвесить тело на пружинных весах; в этом случае вес зависит от местоположения: он больше на полюсах и меньше на экваторе.

При движении тела с ускорением, направленным по вертикали, возникает сила инерции. Она направлена в сторону, противоположную ускорению. Если сила инерции направлена вниз, то она складывается со статическим весом; сила давления на опору увеличивается. Если же сила инерции тела направлена вверх, то она вы-

читается из статического веса; сила давления на опору уменьшается. В обоих случаях измененный вес называют динамическим; он больше или меньше статического. Динамический вес штанги в руках спортсмена действует на него извне (внешняя сила); динамический вес туловища при выпрыгивании вверх действует на ноги внутри тела: это внутренняя сила относительно всего тела и внешняя относительно ног.

23.2. Силы инерции внешних тел

Сила инерции внешнего тела (реальная)¹ — это мера действия на тело человека со стороны внешнего тела, ускоряемого человеком. Она равна массе ускоряемого тела, умноженной на его ускорение:

$$F_{ин} = -ma; [F_{ин}] = MLT^{-2}.$$

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

Ускорение может быть положительным: человек увеличивает скорость, например, ядра, толкая его от себя. Тогда сила инерции ядра воспринимается как сопротивление (рис. 32, а).

Ускорение может быть отрицательным: человек уменьшает скорость, например, набивного мяча, когда ловит его движением «на себя». Тогда сила инерции мяча воспринимается как его напор (рис. 32, б).

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

Во вращательном движении может проявиться

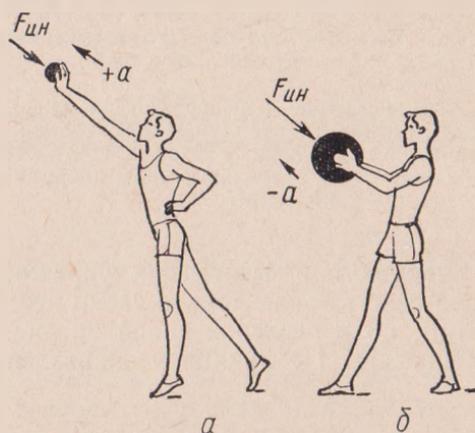


Рис. 32. Силы инерции снаряда: а — в преодолевающем движении; б — в уступающем движении

¹ Реальная — от латинского слова res — вещь, вещественная, вызванная другим телом.

еще сила инерции — тангенциальная, например, если метатель ускоряет движение руки с диском по кривой. Эта сила направлена по касательной. В таком случае можно определить и полную силу инерции как геометрическую сумму тангенциальной составляющей ($F_{ин}^T = m\epsilon r$ при угловом ускорении) и нормальной ($F_{ин}^N = m\omega^2 r$ при центростремительном ускорении).

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

Для ряда расчетов используют не инерциальную («ускоряющуюся») систему отсчета. В этих случаях вводят «фиктивную»¹ силу инерции. Она имеет такой же модуль, как реальная (масса, умноженная на ускорение), и направлена так же, как реальная (в сторону, противоположную ускорению). Но точкой приложения ее считается центр тяжести (или в данном случае лучше сказать «центр инерции») самого ускоряемого тела. Фиктивна здесь не сама сила инерции, а точка ее приложения (центр инерции ядра, мяча, диска вместо рабочей точки тела человека). В 23.1 упоминалось о силе инерции тела на поверхности Земли, к которому приложена его сила инерции. Тут явно речь идет о «фиктивной» силе инерции тела, определяемой в «ускоряющейся» системе отсчета (вращающаяся Земля).

Когда автобус быстро набирает скорость, или затормозит, или круто повернет, все пассажиры испытывают толчок назад, или вперед, или в сторону, противоположную повороту.

С точки зрения неинерциальной системы отсчета (автобус) здесь приложена «фиктивная» сила инерции (встречная, или попутная, или центробежная). С точки зрения инерциальной системы отсчета (Земля, если не учитывать ничтожного для данного случая влияния ее вращения) автобус изменяет скорость, а пассажиры некоторое время еще продолжают прежнее движение. Иногда спрашивают: «А как же понимать это явление на самом деле?» Ответ очень простой: явление одно и то же, но описания его в разных системах отсчета различны. Вот почему, рассматривая силы инерции, всегда надо определить, *силы инерции какого тела, в какой системе отсчета, к какому телу приложены*.

В механике нередко силами инерции называют только «фиктивные» силы инерции, и это вполне обоснованно. Однако в биомеханическом анализе движений человека, в которых почти всегда есть ускорения, целесообразно рассматривать и реальные силы инерции как неуравновешенное противодействие при ускорении².

Когда при физических упражнениях применяют отягощения, они действуют не только своим весом (не смешивать с силой тяжести!), но и реальной силой инерции, если отягощению придается ускорение. По принципу эквивалентности гравитация (тяготение)

¹ Ф и к ц и я — от латинского слова fictio — вымысел, несуществующее.

² Обратим внимание на то, что это противодействие по третьему закону Ньютона и что оно именно неуравновешенное, так как имеется ускорение, а не покой.

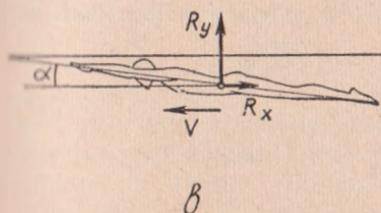
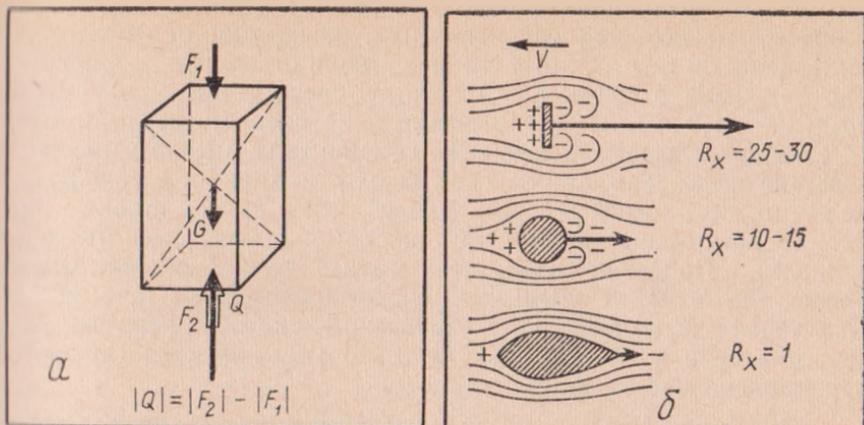


Рис. 33. Силы действия среды: а — статическая (выталкивающая) (Q); б, в — динамические: б — лобового сопротивления (R_x); в — подъемная (R_y)

человек, оказывает свое действие на его тело. Это действие может быть статическим (выталкивающая сила) и динамическим (лобовое сопротивление, подъемная сила).

Выталкивающая сила — это мера действия среды на погруженное в нее тело. Она измеряется весом вытесненного объема жидкости и направлена вверх (рис. 33, а).

Когда выталкивающая сила (Q) больше силы тяжести тела (G), последнее всплывает. Если сила тяжести тела больше выталкивающей силы, оно тонет.

Лобовое сопротивление — это сила, с которой среда (вода или воздух) препятствует движению тела относительно нее. Величина лобового сопротивления (R_x) зависит от площади поперечного сечения тела, его обтекаемости, плотности и вязкости среды, относительной скорости тела:

$$R_x = SC_x \rho v^2; [R_x] = MLT^{-2},$$

и инерция (ускорение) по действию практически неразличимы. Придавая отягощению большее ускорение, можно значительно увеличить (благодаря силам инерции) его динамический вес.

23.3. Силы действия среды

Бегуну, лыжнику приходится преодолевать сопротивление воздуха, пловцу — сопротивление воды. Среда, в которой движется

где S — площадь наибольшего поперечного сечения тела, C_x — коэффициент лобового сопротивления, зависящий от формы тела (обтекаемости) (рис. 33, б) и его ориентации относительно направления движения в среде, ρ — плотность среды (воды — 1000 кг/м^3 , воздуха — $1,3 \text{ кг/м}^3$), v — относительная скорость среды и тела.

Изменяя площадь поперечного сечения тела, можно изменить и действие среды. Так, при спуске с горы у лыжника в высокой стойке эта площадь почти в 3 раза больше, чем в низкой стойке. Значит, сопротивление воздуха при спуске он может изменять почти в 3 раза. Придавая своему телу позы с лучшей обтекаемостью, пловец также может уменьшить сопротивление воды (рис. 33, в). Как хорошо всем известно, с увеличением скорости передвижения сопротивление воды или воздуха резко увеличивается (примерно пропорционально квадрату скорости).

Подъемная сила — это сила, действующая со стороны среды на тело, расположенное под углом к направлению движения. Она зависит от тех же причин, что и лобовое сопротивление:

$$R_y = SC_y \rho v^2; [R_y] = MLT^{-2},$$

где C_y — коэффициент подъемной силы.

С подъемной силой приходится считаться пловцу в воде при продвижении его по дистанции, прыгуну на лыжах с трамплина при полете в воздухе.

23.4. Реакция опоры

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

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

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

Когда вес статический, то и реакция опоры статическая, по величине она равна статическому весу. Если человек на опоре движется с ускорением, направленным вверх, то к статическому весу добавляется сила инерции и возникает динамическая реакция опоры (рис. 34). Реакция опоры — сила пассивная (реактивная). Она не может сама по себе вызвать положительные ускорения. Но без нее, если нет опоры, если не от чего оттолкнуться (или притянуться), человек не может перемещаться.

Если отталкиваться от горизонтальной опоры не строго вверх, то сила давления на опору приложена не под прямым углом к ее поверхности. Тогда реакция опоры также не перпендикулярна поверхности, ее можно разложить на нормальную и касательную составляющие. Когда соприкасающиеся поверхности ровные, без выступов, шипов и т. п. (асфальт и подошва ботинка), то касательная составляющая реакции опоры и есть сила трения (см. 23.5).

Касательная реакция может быть обусловлена не только трением (как, например, между лыжей и снегом), но и другими взаимодействиями (например, шипы беговых туфель, вонзившиеся в дорожку). Равнодействующая нормальной реакции опоры и касательной называется общей реакцией опоры. Общая реакция опоры только при свободном неподвижном положении над опорой (или под опорой) проходит через ОЦТ человека. Во время движений отталкивания или амортизации она обычно не проходит через ОЦТ, образуя относительно него момент.

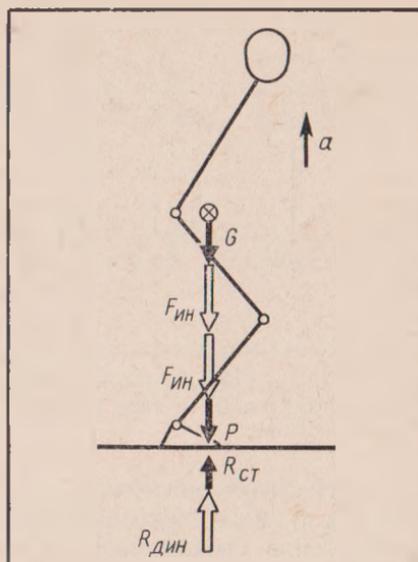


Рис. 34. Реакция опоры: статическая ($R_{ст}$) и динамическая ($R_{дин}$)

23.5. Силы трения

Абсолютно гладких поверхностей опоры практически не существует. Между телом человека и опорой всегда возникает трение.

Сила трения — это мера противодействия движению тела, направленная по касательной к соприкасающимся поверхностям тел. Сила трения измеряется произведением нормального давления и коэффициента трения:

$$T = NK_{тр}; \quad [T] = MLT^{-2},$$

где $K_{тр}$ — коэффициент трения (рис. 35, а).

Как видно по смыслу формулы, коэффициент трения — это отношение силы трения к силе нормального давления, которая прижимает трущиеся тела одно к другому.

Это справедливо для трения скольжения, возникающего, когда одно тело перемещается относительно другого, не теряя контакта

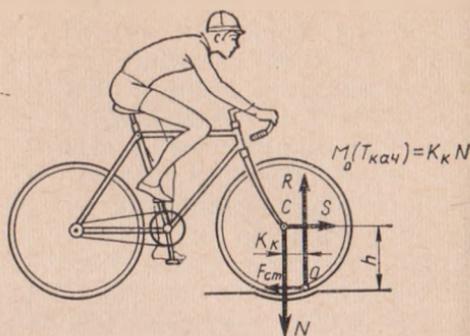
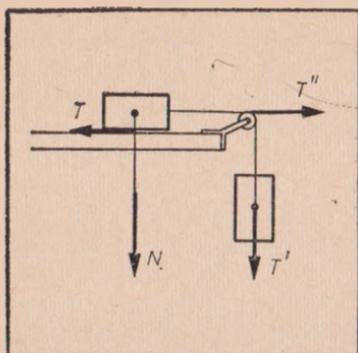


Рис. 35. Силы трения: а — скольжения (T), где T' — вес груза, равный сдвигающей силе T'' и силе трения T ; б — качения, где K_k — коэффициент трения качения

с ним, скользит по нему. Сила трения в этом случае динамическая. Если же сдвигающая сила не может сдвинуть тело, значит, сила трения удерживает его в неподвижности. Эту силу трения называют статической (или силой трения скольжения покоя). По третьему закону Ньютона *статическая сила трения равна сдвигающей силе*¹.

До каких пределов может увеличиваться статическая сила трения? Этот предел называется предельной силой трения скольжения покоя. Она равна произведению нормального давления на статический коэффициент трения скольжения:

$$T_{ст} = NK_{ст}.$$

Следовательно, *статический коэффициент трения скольжения равен отношению статической силы трения скольжения (предельной) к силе нормального давления. Можно сказать иначе — отношение сдвигающей силы к прижимающей*.

Механизм трения скольжения объясняют зацеплением неровностей поверхностей скользящих тел друг за друга (механическая теория), а также молекулярным сцеплением, когда гладкие поверхности обеспечивают плотный контакт тел (молекулярная теория)².

Второй вид трения, отличный от трения скольжения, проявляется при качении, когда точки соприкосновения тел все время сменяются (точки покрышки велосипеда и места его опоры на дорожке). Механизм трения качения объясняют деформацией соприкасающихся тел. Колесо как бы вдавливается в опору, образуя ямку, через край которой колесу все время приходится перека-

¹ Строго говоря, не самой сдвигающей силой, приложенной к сдвигаемому телу, а силе действия последнего на опору.

² Подробнее о трении скольжения см. в гл. VII.

тиваться (рис. 35, б). Тогда коэффициент трения качения вычисляют как отношение момента движущей силы ($M_0(S) = Sh$) к моменту трения (N — сила нормального давления, умноженная на ее плечо относительно края «ямки» — K_K). *Плечо силы N , затрудняющей «выкатывание» из «ямки», и есть коэффициент трения качения (его размерность — L).*

Силы трения, направленные навстречу движению, тормозят его. Они вызывают отрицательное ускорение, совершают отрицательную работу. Силы трения, направленные одинаково с движением, не создают положительного ускорения, не совершают положительной работы. Они не дают точке контакта движущегося тела «проскальзывать» назад. Таким же образом действуют и опорные реакции. Как и силы трения, они обеспечивают опору телу человека при отталкивании. Без них невозможно отталкивание, но в «самодвижущихся» системах движущие силы не они.

23.6. Силы упругой деформации

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

Сила упругой деформации — это мера действия деформированного тела на другие тела, вызвавшие эту деформацию. Упругие силы зависят от свойств деформированного тела, а также вида и величины деформации:

$$F_{\text{упр}} = xk_{\text{упр}}; [F_{\text{упр}}] = MLT^{-2},$$

где $F_{\text{упр}}$ — упругая сила, x — деформация, $k_{\text{упр}}$ — коэффициент упругости (жесткости) тела.

Спортсмен сжимает динамометр, растягивает эспандер, изгибает упругий трамплин; в них при деформации возникают упругие силы. Нарастая, эти силы останавливают деформацию. Спортсмен совершил положительную работу, передал энергию деформированным внешним телам (потенциальная энергия упругой деформации). Далее прекращается действие деформирующей силы, и потенциальная энергия упругой деформации переходит в кинетическую энергию. Как восстанавливают форму динамометр и эспандер, спортсмену безразлично, а вот восстановление формы упругого трамплина передает кинетическую энергию телу гимнаста, и он выпрыгивает выше, чем с пола. Упругие силы деформированного трамплина совершают положительную работу.

§ 24. Силы, внутренние относительно тела

Внутренние силы в теле человека возникают вследствие взаимодействия частей биомеханической системы тела. Они проявляются как силы притягивания и отталкивания внутри

тела. В абсолютно твердом теле такие силы взаимно уравновешены, деформации не возникают.

В теле человека внутренние силы могут действовать статически. Это случай, когда движений нет, а возникают только напряжения. Внутренние силы действуют также и динамически. Это случай, когда внутренние силы вызывают движение одних звеньев относительно других, изменяют позу. Различают внутренние силы двоякого рода: силы активного действия человека, обусловленные его мышечной активностью (мышечная работа), и остальные внутренние силы — их обычно называют пассивными механическими силами и тела человека.

Очень важно помнить, что термин «пассивная сила» имеет два смысла. В механике пассивная (или реактивная) сила не вызывает положительного ускорения, не совершает положительной работы (опорная реакция и ее составляющая — сила трения). В физиологии пассивные силы не вызваны непосредственно биологическими процессами, хотя и зависят косвенно от них (силы инерции, упругой деформации, трения, опорных реакций и др.). Их обычно называют силами пассивного противодействия¹. Эти силы не только замедляют движения, но и мешают им. По мере совершенствования движений они, *включаясь в общую систему сил, могут помочь движениям, делать их устойчивыми, приносить большую пользу.*

24.1. Силы мышечной тяги

Силы мышечной тяги, приложенные к костям скелета, служат источниками энергии движения, сохраняют необходимые позы, управляют движениями. Эти силы согласованы в совместном действии и, как правило, объединяются в устойчивые группы (мышечные синергии). Направленные по ходу движения, они вызывают преодолевающие движения, а направленные противоположно обуславливают уступающие движения.

Своим действием силы мышечной тяги изменяют взаимодействие тела человека с окружающими физическими объектами (среда, опора, снаряды, другие люди). Это обуславливает возникновение и изменение множества внешних относительно тела человека сил. Управляя своими движениями, человек учится управлять (в известных пределах) и внешними силами, а значит, эффективно управлять своими движениями в конкретных условиях внешнего окружения. Силы мышечной тяги правильно также называть *услиями*.

¹ Напомним, что деление сил на «действие» и «противодействие» чисто условное. И те и другие — результат взаимодействия и в принципе не отличаются одна от другой.

24.2. Силы пассивного противодействия

Внутренние силы пассивного противодействия можно разделить на статические и динамические. Первые действуют в покое. Они постоянны, движений не вызывают, так как взаимно уравновешены. Это обычно опорные реакции, напряжения в тканях суставно-связочного аппарата и костях. Так как они вызваны другими силами, служат реакциями, связями, ограничениями, препятствующими движению, их принято называть реактивными.

Движения звеньев тела в суставах происходят с ускорениями центростремительными (неизбежны при любом суставном движении) и тангенциальными (имеются почти всегда: при разгоне звена — положительные, при торможении — отрицательные). Следовательно, силы инерции¹ имеются всегда. Инерционные силы — это огромная группа сил, возникающих при ускорениях.

Наконец, вследствие упругих деформаций тканей (преимущественно в органах опорно-двигательного аппарата) возникают силы упругости (останавливающие деформацию и восстанавливающие форму). В физических упражнениях, в частности в спорте, их роль очень значительна. Это группа упругих сил.

Итак, силы пассивного противодействия (менее строго, но более понятно называть их внутренними механическими силами) — реактивные, инерционные и упругие — совместно с мышечными тягами составляют внутренние относительно тела силы.

§ 25. Динамические особенности в движениях человека

25.1. Действие сил на биокинематические цепи

Силы, приложенные к звеньям тела человека, имеют различное значение. В зависимости от того, как направлены силы относительно скорости движущегося тела (рис. 36), различают:

движущие силы, которые совпадают с направ-

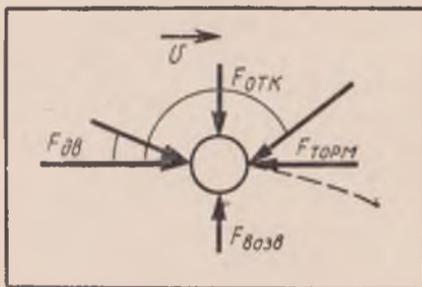


Рис. 36. Силы, действующие относительно скорости: $F_{дв}$ — движущие, $F_{торм}$ — тормозящие, $F_{отк}$ — отклоняющие, $F_{возв}$ — возвращающие

¹ К ним еще надо отнести кориолисовы силы инерции (см. гл. V).

лением скорости (попутные) или образуют с ними острый угол и могут совершать положительную работу¹;

тормозящие силы, которые направлены противоположно направлению скорости (встречные) или образуют с ним тупой угол и могут совершать отрицательную работу;

отклоняющие силы, перпендикулярные направлению скорости и увеличивающие кривизну траектории;

возвращающие силы, также перпендикулярные направлению движения, но уменьшающие кривизну траектории.

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

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

Тормозящие силы имеются всегда. Если движущие силы больше тормозящих, то их разность — ускоряющая сила — обуславливает увеличение скорости, сообщает телу положительное ускорение. Если нет движущих сил (у них нулевая величина — движение по инерции) или они меньше тормозящих, то упомянутая выше разность — замедляющая сила — уменьшает скорость, обуславливает отрицательное ускорение (замедление). От соотношения отклоняющих и возвращающих сил зависит действие поворачивающей силы, изменяющей кривизну траектории. С уменьшением поворачивающей силы траектория выпрямляется, приближаясь к прямолинейной.

Решение задач в теоретической механике характеризуется тем, что стараются все множество сил, приложенных к телу, заменить равнодействующей, если это невозможно — главным вектором (т. е. силой, обуславливающей поступательное движение) и главным моментом (обуславливающим вращательное движение). Для биомеханической системы этот способ решения задачи в качестве основного неприемлем.

Во-первых, тело человека — самодвижущаяся система, в которой передача движения от звена к звену неоднозначна. Следовательно, надо разбирать силы, определяющие движение в каждом звене. Во-вторых, у самодвижущихся систем силы, приложенные к многим подвижным звеньям, нельзя заменить равнодействующими: каждое звено движется под действием именно к нему приложенных сил. При этом не следует отбрасывать действие противоположно направленных сил, поскольку в биомеханике особенно важна роль каждой силы, ее вклад в движение, задачи совершенствования ее использования.

Кроме того, при решении задач в механике стараются отбросить внутренние для системы силы: их трудно определять, к тому же они попарно уравниваются. В биомеханическом же разборе движений как раз внутренние силы наиболее интересны. Имен-

¹ При положительной работе скорость увеличивается и растет кинетическая энергия, при отрицательной — наоборот.

но они выполняют работу по передвижению самодвижущейся системы тела человека, именно они служат главными управляющими силами. Поэтому нужен тщательный разбор функций и соотношения всех сил, позволяющий оценить их роль в движениях.

Силы, приложенные к звеньям тела, создают относительно осей суставов моменты. Действие их в основном такое же, как и самих сил, — ускоряющее, замедляющее, поворачивающее. В конечном счете именно действие этих моментов сил и вызывает изменение положений тела и изменение движений. Говоря коротко, *действие сил вызывает изменение движений*. Необходимо только напомнить, что не вся движущая сила обуславливает ускорение, а только ее избыток над тормозящей силой, т. е. ускоряющая сила. Значит, не вся движущая сила совершает работу по передвижению звеньев. Значительная часть работы переходит в механическую энергию деформации и, кроме того, в немеханические формы энергии (прежде всего в тепловую).

В настоящее время невозможно точно определить в любой момент движения напряжение любой мышцы. Даже если бы это было возможно, то все равно исключительно сложно рассчитать взаимодействие всех мышечных тяг, учесть все другие внешние и особенно внутренние силы. Поэтому при биомеханическом разборе движений особенно важно *глубоко понимать физическую сущность действия сил на биокинематические цепи*.

25.2. Геометрия масс тела

Всегда при определении того, как изменяется движение под действием приложенной силы, необходимо знать инерционные характеристики объекта. В соответствии со вторым законом Ньютона масса тела, как его инерционная характеристика, определяет зависимость ускорения от приложенной силы:

$$F = ma, \text{ или } m = \frac{F}{a}.$$

Здесь масса — коэффициент пропорциональности между силой и ускорением.

Поскольку практически все движения в суставах вращательные, эти формулы, выражающие соотношения только в поступательном движении, для тела человека непригодны. Во вращательном движении мера инертности — *коэффициент пропорциональности между приложенным моментом силы и вызываемым им изменением движения — момент инерции*:

$$M_z(F) = I\varepsilon,$$

или

$$I = \frac{M_z(F)}{\varepsilon}, \text{ где } I = \sum m_i r_i^2.$$

Инерционные свойства звеньев и всего тела человека определяются их массами, а также моментами инерции относительно осей вращения.

Следовательно, для определения связи сил с движениями надо знать массы звеньев и их взаимное расположение. Об этом дают представление относительный вес звена, местонахождение его центра тяжести и момент инерции звена относительно сочленения.

М а с с у з в е н а определяют обычно по его о т н о с и т е л ь н о м у в е с у (в процентах к весу всего тела). У людей разного пола, возраста и телосложения эти соотношения, конечно, различны. Однако у взрослых мужчин и женщин относительные веса довольно близки. Учитывая невысокую точность всех определений, приводящих к нахождению центра тяжести, обычно при приближенных расчетах пренебрегают различиями в индивидуальных особенностях соотношения масс звеньев. Зная вес всего тела и относительный вес звена в процентах, можно определить и массу звена по формуле:

$$m = \frac{P_T p_{отн}}{g \cdot 100}$$

где m — масса звена, P_T — вес всего тела, $p_{отн}$ — относительный вес звена в процентах и g — ускорение свободно падающего тела (значительно округляя числа).

При учебных расчетах принято считать массу головы равной 7% от массы всего тела, туловища — 43%, плеча — 3%, предплечья — 2%, кисти — 1%, бедра — 12%, голени — 5%, стопы — 2%.

Ц е н т р т я ж е с т и з в е н а определяют по расстоянию его от оси проксимального сустава — по р а д и у с у ц е н т р а т я ж е с т и. 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; 0,44 от головного конца тела). Центр тяжести головы расположен в области турецкого седла клиновидной кости (проекция спереди на поверхность головы — между бровями, сбоку — на 3,0—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. 37, а).

Зная массы звеньев и их радиусы центров тяжести, можно приблизительно определить положение общего центра тяжести (ОЦТ) всего тела. Он расположен при основной стойке в области малого таза, впереди крестца (по М. Ф. Иваницкому). Положение ОЦТ тела надо знать при определении равновесия человека на опоре (или в подвесе), в водной среде, в покое, а также под воздействием

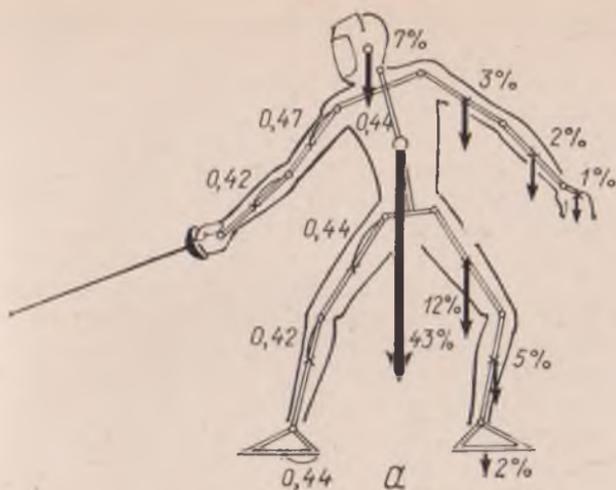
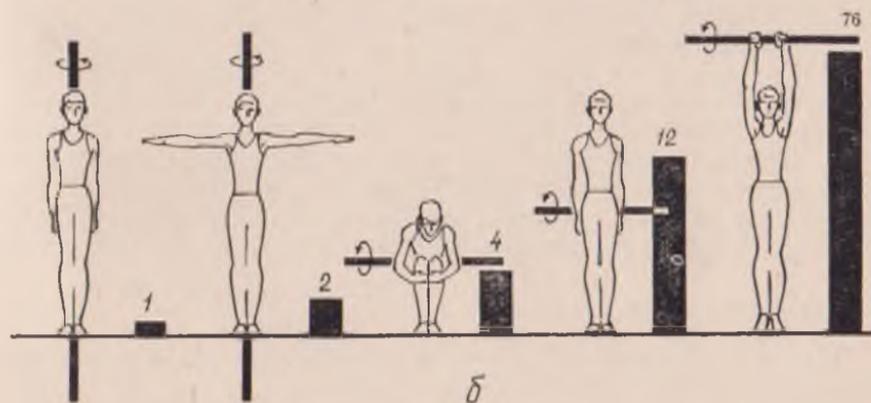


Рис. 37. Геометрия масс тела человека: а — центры тяжести и относительные веса звеньев (по О. Фишеру и Н. А. Бернштейну); б — моменты инерции тела относительно разных осей



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.

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. Приближенно моменты инерции длинных звеньев конечностей равны $0,3 ml^2$ (где m — масса звена и l — длина звена). Радиусы инерции (см. 21.3) относительно поперечной оси проксимального сустава приближенно 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.

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. 37, б). Направленное изменение момента инерции широко используется при управлении вращательными движениями тела (см. гл. V).

25.3. Роль сил в движениях человека

На тело человека при выполнении физических упражнений действует множество сил, играющих разную роль.

Во-первых, надо выделить силы, которые обеспечивают сохранение позы и положения, — у р а в и о в е ш и в а ю щ и е с и л ы (см. гл. V). Под действием этих сил тело «отвердевает», т. е. ряд подвижных звеньев обращается как бы в одно звено. Так фиксируется либо положение всего тела человека, либо положение части его звеньев — опорных.

Во-вторых, надо выделить силы у с к о р я ю щ и е¹, под действием которых изменяются скорости звеньев, направления их движений, увеличиваются или уменьшаются количество движения, кинетический момент, кинетическая энергия тела.

И те и другие силы деформируют ткани тела, на что расходуются значительная часть механической энергии. Источниками всей механической энергии служит работа сил: внутренних относительно тела человека и внешних. В земных условиях внешние силы дей-

¹ К ним относятся и силы, вызывающие отрицательное ускорение, так сказать, «замедляющие».

ствуют на тело человека непрерывно. Они подводят механическую энергию, действуя в направлении движения, и отнимают ее, действуя в противоположном направлении.

Кроме того, тело человека как самодвижущаяся система несет в себе запасы химической энергии, которая превращается в потенциальную (механическую) энергию напрягающихся мышц и далее в кинетическую энергию движущихся звеньев тела. Так возникают внутренние силы — усилия мышц. При прочих равных условиях в медленных движениях они намного меньше, чем в быстрых, так как меньше усилия для разгона и торможения звеньев. Заметим, что в быстрых движениях значительно возрастает роль внутренних механических («пассивных») сил: реактивных, инерционных и упругих, которые могут значительно превышать усилия, созданные биохимическими превращениями в мышцах.

Эффективность движений во многом зависит от того, каковы силы сопротивления этим движениям. Различают рабочие и вредные сопротивления. Без рабочих сопротивлений немислимы сами движения, в «преодолении» их и заключается смысл самих движений (например, вес штанги при ее поднимании). Вредные сопротивления также неизбежны, но они поглощают часть полезной работы, и, чем меньше их действие, тем эффективнее движение.

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

Силы, приложенные к телу человека, определяют его движения. Движения же самого человека определяют силу его действия на внешнее физическое окружение. Сила действия человека передается через его рабочие точки в форме передачи движения (количество движения, кинетический момент) и в форме передачи кинетической энергии поступательного и вращательного движения.

Физические упражнения с точки зрения биомеханики рассматриваются как системы движений. Это объединения множества частных движений, представляющие собой единые, целостные, целенаправленные проявления активности — двигательные действия. Совершенство выполнения физического упражнения зависит от того, насколько правильны все частные детали и как они объединены, зависит от структуры системы движений. Выполняя движения, человек управляет ими. Важно понимать не только то, как построены системы движений в физических упражнениях, но и то, как человек управляет системами движений, используя их структуру.

ДВИГАТЕЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ КАК СИСТЕМА ДВИЖЕНИЯ

При изучении физических упражнений приходится исследовать разные виды систем: 1) вещественная система — опорно-двигательный аппарат (сотни костей, суставов и мышц); 2) система процессов — управление движениями, их энергетическое обеспечение и непосредственное и полное исполнение; 3) система свойств — целостность и расчлененность систем, их устойчивость и изменчивость и многое другое; 4) система отношений — соподчинение (субординация), взаимное согласование (координация) и др. Все эти системы характеризуют разные стороны физического упражнения. В биомеханике в первую очередь рассматривают физические упражнения как системы процессов исполнения движений.

§ 26. Состав системы движений

В системе движений различают составляющие ее элементы; их выделяют как элементы пространственные и временные.

Поскольку физическое упражнение выполняется посредством движений частей тела и всего тела в пространстве и во времени, целесообразно различать в системе движений ее элементы и по пространственным характеристикам, и по временным.

26.1. Пространственные элементы

Пространственные элементы системы движений выделяют как движения в разных местах тела по изменению взаимных положений звеньев тела в разных суставах. Такие элементы называют составными движениями (или элементар-

ными действиями). Элементарное действие — это наименьший элемент (пространственный), полностью решающий определенную задачу.

В физических упражнениях, как и во всех двигательных действиях, простые суставные движения обычно объединены в группы одновременных движений и в ряды последовательных движений. Одновременные движения выполняются в разных суставах в одно и то же время, например движения в суставах ноги при отталкивании. Движения в тех же суставах при этом действии выполняются и в определенной последовательности, одно за другим. Иногда внимание направлено на то, как именно изменяются позы, в каких суставах.

26.2. Временные элементы

Временные элементы системы движений выделяют по времени в той же системе движений. Основное внимание обращено на то, когда начинается движение, как долго оно длится, когда заканчивается, как согласуется во времени с другими движениями. Изучая ряд движений, выделяют его части, отличающиеся одна от другой по каким-то особенностям. Как известно, эти особенности называются характеристиками, а сами различающиеся части системы движений — фазы. Фаза — это наименьший элемент (временной), полностью решающий определенную задачу.

Фазы, имеющие общие особенности, могут быть объединены в периоды (например, периоды опоры и периоды полета в беге). Из периодов складываются циклы движений (при их повторности, например, в ходьбе, беге, плавании и др.) или отдельные акты (метание, прыжок и др.).

Каждая фаза, отличаясь от предыдущей и последующей, отделена от соседних определенным моментом движений. Это границы между фазами. В данные моменты происходит смена фаз. Так как каждой фазе соответствует своя ведущая задача, то смена фаз соответствует смене задач движения.

Позы тела в момент смены фаз (на границе двух фаз) называют граничными позами. Каждая такая поза служит конечным положением для предыдущей фазы и начальным (исходным) для следующей за ней фазы. Следовательно, выполняя каждую фазу, надо к моменту ее смены принять позу, наиболее благоприятную для решения задачи последующей фазы. Вот почему граничные позы в ходе непрерывного движения служат удобными ориентирами для контроля за правильностью движений.

26.3. Подсистемы движений

И суставные движения, и фазы суть сами движения. Это одни и те же движения, только выделенные внутри системы по разным признакам. И те и другие элементы объединены в комплексы (ряды, группы, периоды, циклы и т. п.).

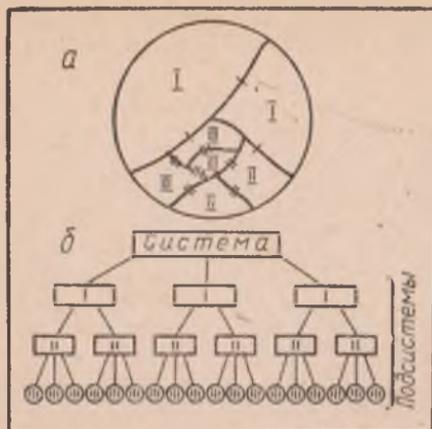


Рис. 38. Схема построения системы: а — деление на подсистемы I, II и III порядка; б — иерархическое соподчинение систем

между собой. Обычно подсистемы более высокого порядка выделять легче (они менее связаны одна с другой), чем низовые. Внутри низовых подсистем связи бывают прочнее, и дальнейшее их деление нецелесообразно.

Каждый элемент (элементарное действие, фаза) — это наименьшая подсистема движений, полностью решающая определенную задачу.

§ 27. Структура системы движений

27.1. Структура как способ взаимодействия

Структура системы движений — это наиболее сложившиеся и определяющие закономерности взаимодействий подсистем.

Между множеством элементов, объединенных в систему движений, обнаруживают очень сложные закономерности взаимосвязи и взаимодействия. С одной стороны, элементы, будучи связанными, помогают одни другим, способствуют совершенствованию системы, порождают саму систему и ее особенности. Такие связи по сути дела с и с т е м о о б р а з у ю щ и е. С другой стороны, неизбежны и взаимные помехи.

Такие помехи, возникающие внутри системы, можно разделить на две группы. Во-первых, это рассогласования напряжений мышц. Невозможно идеально точно, самым лучшим способом согласовать время начала и окончания напряжений мышц, их точную величину, быстроту нарастания и спада напряжения, наибольшие моменты тяги и многое другое. В двигательном акте принимают участие сотни мышц, в работе каждой из них неизбежны те или иные отклонения. Поэтому возникают очень серьезные помехи, которые заранее предусмотреть невозможно.

Таким образом, системы движений можно разделять на более мелкие, дробные комплексы — подсистемы. Для разделения на подсистемы надо установить задачи каждой выделяемой части. Так, при беге в периоде опоры задачи иные, чем в периоде полета.

Система движений имеет своего рода многоступенчатое строение. Такой многоступенчатый (иерархический) порядок построения характерен для сложных систем (рис. 38). Они состоят не просто из множества мелких отдельных элементов, а из все меньших объединений — подсистем. В этих подсистемах их элементы соединены один с другим теснее, чем сами подсистемы

Во-вторых, при движениях с ускорениями в сложных биокинематических цепях возникает огромное количество переменных сил — инерционных, упругих, реактивных и др. Эти силы передаются по биокинематическим цепям, отражаются, сталкиваются. Возникает множество пассивных механических сил, которые также предусмотреть невозможно, что создает помехи в движениях.

Итак, *закономерности взаимодействий (положительных и отрицательных) представляют собой сложную структуру системы движений, включающую структуры ее подсистем.*

Структура системы определяет собой качество самой системы, ее взаимодействие с внешним окружением, возникновение новых свойств системы и возможности ее развития.

Целостность системы обусловлена системообразующими связями. Элементы согласованы в пространстве, во времени и по усилиям, что обеспечивает целесообразность действия. С развитием системы улучшается полезная сторона структуры, снижаются возникающие в системе внутренние помехи. Все это в **внутренние взаимодействия**. От внутренних взаимодействий, от слаженности элементов зависит совершенство движений.

Движения выполняются в определенных условиях внешнего окружения. Кроме внутренних взаимодействий, система движений характеризуется и **внешними взаимодействиями**. Движения спортсмена влияют на внешнее окружение, а внешнее окружение воздействует на движения спортсмена (внешние силы). От внешних взаимодействий во многих случаях зависит эффективность выполнения двигательной задачи.

Вследствие внутренних взаимодействий подсистем у целостной системы движений возникают новые, **системные свойства**. Эти свойства всей системы в целом отсутствуют у отдельно взятых ее элементов.

В физических упражнениях *системные свойства проявляются в наращивании скоростей в составных движениях, в сложном складывании отдельных усилий, в становлении нового общего ритма движений и во многих других показателях технического мастерства (помехоустойчивость, приспособительная изменчивость и т. п.).*

Наконец, от того, насколько прочны или податливы установившиеся взаимодействия как структуры, зависят важнейшие вопросы развития системы: в какой степени закреплено достигнутое, не расстроится ли оно при дальнейшем развитии и, наоборот, не станет ли излишняя фиксация структуры препятствием к прогрессивному совершенствованию системы. В этом смысле *особенности формируемой системы движений определяют собой возможности ее развития.*

27.2. Виды структур в системе движений

При изучении системы движений выявляют виды ее структуры (рис. 39).

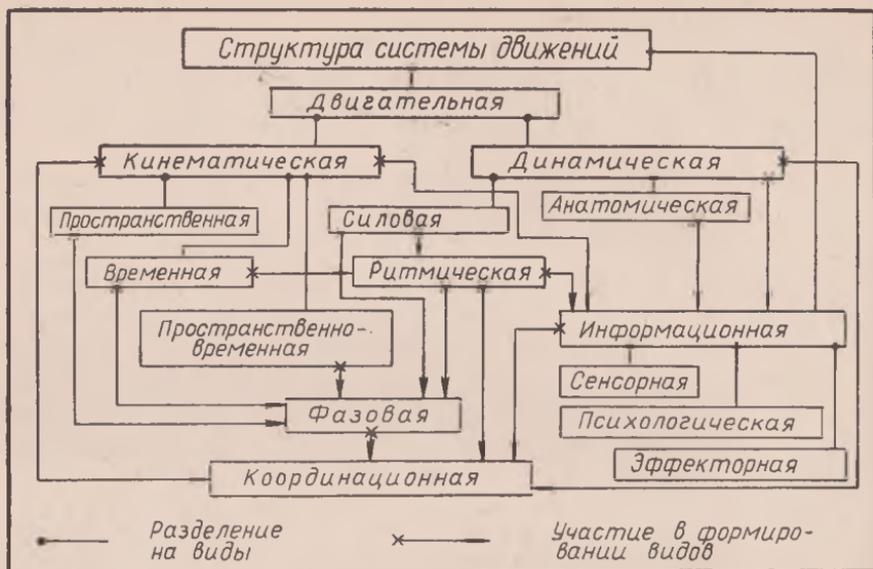


Рис. 39. Структура системы движений и ее виды

Кинематическая структура — это основные (определяющие) устойчивые закономерности взаимосвязи движений (подсистем и их элементов) в пространстве и во времени.

Движения в физических упражнениях отличаются своей сложностью, согласованностью. При наблюдении они дают определенную внешнюю картину — форму (в пространстве) и характер. Чтобы определить кинематическую структуру, используют кинематические характеристики.

По пространственным характеристикам определяют, как взаимно связаны траектории движений, каковы при этом позы — исходные, промежуточные, конечные. Можно сказать, что наблюдается определенный пространственный рисунок движений благодаря совместным движениям частей тела.

По временным характеристикам устанавливают, как движения взаимосвязаны во времени, как согласованы (раньше, позже), как долго длятся, как сменяют одно другое, каковы очередность, ритм и т. п.

Скорости и ускорения как пространственно-временные характеристики вместе с временными обрисовывают характер движения. При одной и той же пространственной форме движения могут иметь разный характер: упражнения можно выполнять быстрее, медленнее, в том или ином ритме и т. п.

Все соотношения движений в пространстве и времени определяются их кинематической структурой, тем, как они организованы. Каждый из видов кинематической структуры (пространствен-

ная, временная, пространственно-временная) раскрывает ту или иную сторону системы. Лишь все вместе они обуславливают внешнюю картину движений в целом.

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

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

Части тела человека обладают инертными свойствами (масса, момент инерции, см. § 21), поэтому наращивание скорости или торможение движения происходит при приложении сил.

Силы, действуя совместно, могут помогать или мешать друг другу. От того, как они согласованы, зависит совершенство движения. Именно характер приложения сил определяет все особенности выполнения движений. Динамические структуры и есть такие основные закономерности согласования сил.

Динамические структуры изучают по динамическим характеристикам с использованием также и кинематических: какие силы, какой величины, куда, в каком направлении, когда и как долго приложены, как при этом изменяются движения. Учесть каждую из сотен (если не тысяч) сил практически невозможно, да и не нужно. Обычно изучают наиболее значительные силы и группы сил, а также их согласование.

Для выявления взаимодействия мышц определяют и анатомическую структуру. Особое внимание уделяется тому, *как посредством мышечных сил согласовать действие остальных сил и использовать их.*

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

Информационные структуры — это основные (определяющие) устойчивые закономерности взаимосвязей между элементами информации — сообщениями об условиях и ходе действия, о командах, без чего невозможно управление движениями.

С помощью нервной системы и другими путями в организме передаются сигналы (информация), которые служат для управления. К центрам следуют сигналы об условиях действия, о ходе выполнения движения, а к мышцам — команды для подготовки к действию и для выполнения самих движений. Источниками сигналов служат многочисленные факторы внешнего окружения и внутреннего состояния организма.

Различают сенсорные структуры. Множество сигналов объединяются, синтезируются, образуя так называемые «чувства» (например, «чувство» дистанции, равновесия, осанки,

опоры, воды и т. п.). Сигналы перерабатываются, обобщаются и служат основанием для правильного отражения действительности.

Все воздействия, относящиеся к выполнению движений, так или иначе отражаются в сознании. Они сочетаются со следами информации, сохранившимися в памяти. Формируется еще один вид информационных структур — психологическая структура двигательного навыка. Это то, что человек знает о движениях, об общих требованиях к ним и о деталях, о своих движениях и технике других спортсменов. Именно формирование этих структур позволяет человеку ставить себе задания, контролировать их исполнение, оценивать, т. е. сознательно и активно действовать.

Наконец, различают еще эффе́кторные структуры — совокупность команд к мышцам и другим органам, управление исполнением движений и их энергетическим обеспечением.

Обобщенные структуры — это закономерности взаимосвязей разных сторон действия.

Среди множества возможных обобщенных структур чаще всего изучают ритмические, фазовые и координационные. Их выделяют условно для более детального изучения общей структуры системы движений.

Ритмические структуры — это закономерности отношений во времени. К ним относится соотношение длительностей частей движений, всего двигательного акта или действий. От того, как размещены во времени акценты усилий, зависит скорость и длительность последующих движений (см. 18.4). Части движений различаются по направлению, скорости, ускорению, усилию и т. п. Ритмические же соотношения измеряются только показателями времени. Ритмические структуры служат особо отчетливыми показателями совершенства упражнений.

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

Координационная структура — совокупность всех основных (определяющих) внутренних взаимосвязей в системе движений и взаимодействий человека с его внешним окружением при выполнении упражнения. Понятие «координационная структура» шире, чем общая структура системы движений. Последняя рассматривает в основном саму систему движений, а координационная структура охватывает и саму систему движений, и ее взаимодействие с окружением.

Изучение структурных связей раскрывает самое существенное в двигательной деятельности человека — согласование движения цели, т. е. для решения двигательной задачи.

27.3. Координация¹ движений человека

Координация движений — это процесс согласования движений, приводящий к достижению цели.

При оценке качества выполнения движений особый интерес представляет согласование механического движения частей тела. Это согласование (координация движений) есть следствие, результат сложных процессов управления движениями. Конкретные механизмы управления изучаются физиологией.

Целесообразно различать три координации движений: нервную, мышечную и двигательную.

Нервная координация — это процесс согласования рефлекторных нервных процессов (команд), приводящий в конкретных условиях к решению двигательной задачи посредством управления движениями через мышечные тяги. Нервная координация характеризуется системностью (стереотипия, по И. П. Павлову) и приспособительностью (динамичность). Динамическая стереотипия проявляется в формировании систем нервных процессов, относительно постоянных, устойчивых и в то же время приспособляющихся к переменным условиям.

Мышечная координация — это процесс согласования напряжений мышц, силы тяги которых приложены к звеньям тела. Напряжения мышц зависят от ряда причин, что проявляется в действии сократительных и упругих элементов мышц. Действие мышц, а значит, и мышечная координация определяется нервной координацией, но зависит также от множества других причин. Следовательно, *мышечная координация не равнозначна нервной.*

В мышечной координации характерно групповое взаимодействие мышц, образование мышечных синергий — более или менее постоянных групповых действий мышц. Так, при шаговых движениях обширные группы мышц действуют более или менее однообразно, обеспечивая устойчивость навыка ходьбы, бега и других движений.

Двигательная координация — это процесс согласования движений звеньев тела в пространстве и во времени (одновременное и последовательное), соответствующий решению конкретной задачи в конкретных условиях. Это согласование движений есть следствие и мышечной, и нервной координации, зависящее от них, но не полностью.

¹ Термином «координация» нередко называют саму систему движений. Правильнее координацию рассматривать не как сами движения, а как процесс их согласования.

Координация движений может осуществляться на двигательной периферии преимущественно под воздействием внешних сил, почти без участия мышечной активности (автономная саморегуляция). Координация движений нередко осуществляется преимущественно на мышечном уровне, с использованием упругих сил, при участии групп многосуставных мышц, без ведущей роли нервной системы. Наконец, координация движений в самом сложном и тонком приспособлении к конкретным условиям, в самом главном осуществляется управляющим воздействием нервной системы по рефлекторному принципу, в самом широком смысле этого слова.

В процессе координации движений осуществляется выполнение заранее установленных заданий и ведется поиск лучшего выполнения. Таким образом, *координация движений есть процесс активного поиска путей и обеспечения качества выполнения двигательной задачи.*

27.4. Ошибки в движениях

Ошибки в движениях (неправильное выполнение заданного движения) могут иметь различное происхождение.

При первоначальном овладении новым упражнением первые попытки могут быть безуспешными. Вместо заданного движения ученик выполняет нечто похожее, но не то, что требуется. В этом случае еще не началось формирование правильного выполнения и согласования движений. *Это отсутствие координации как процесса, приводящего к цели.*

Часто даже после первых удачных попыток исполнения вновь наступает нарушение, расстройство уже появившейся координации, согласования, налаживания движений. В первом случае еще не было координации, не было правильных движений и следовало искать пути их формирования. Если же (как во втором случае) координация уже возникла, но разладилась, *то надо искать пути ее восстановления, упрочения, закрепления.*

Чтобы уменьшить возможность появления ошибок, крайне важно предварительно создавать правильное представление о движении (см. 28.2).

Поскольку движения в целостном действии взаимосвязаны, одно движение влияет на другое, ошибки чаще всего тоже не бывают одиночными, изолированными — одна ошибка влечет за собой другую. Они могут быть не только одновременными, но и следовать одна за другой. Такие цепочки ошибок часто заставляют искать причину ошибки не только в одновременных движениях (или позах), но и в предшествовавших.

Причины ошибок очень разнообразны. Они могут возникать от непонимания задания, от недостаточной физической подготовленности, от недостаточного освоения необходимых навыков, от сби-

вающих воздействий внешнего окружения и от многого другого, поэтому и способы устранения ошибок столь же разнообразны.

Прежде всего необходимо выяснить, в чем именно заключается ошибка, затем установить причину ее возникновения. Тогда можно использовать наиболее правильный путь — *устранение самой причины ошибки*.

Ошибки, возникшие вторично после правильного освоения упражнения, в принципе устранить проще: следует только вернуться к первым ступенькам овладения. Однако практически устранять ошибки часто очень непросто. Дело в том, что по разным причинам они могут упрочиться, закрепиться не менее прочно, чем правильные движения. У таких ошибок устанавливаются связи с остальными движениями; тогда нужно *искать пути разрушения неправильных движений и их связей с другими, правильными движениями*. Очень часто такое устранение вторичных ошибок представляет собой фактически переучивание, поэтому оно труднее, чем правильное начальное обучение.

ФИЗИЧЕСКИЕ УПРАЖНЕНИЯ КАК УПРАВЛЯЕМЫЕ СИСТЕМЫ

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

§ 28. Самоуправляемые системы

28.1. Построение самоуправляемой системы

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

Управляющая подсистема (мозг) посылает команды органам движения по каналу прямой связи (двигательные нервы). Органы движения, осуществляя действие, воздействуют на внешнее окружение (тоже прямая связь). От внешнего окружения сигналы о его состоянии и изменениях в нем по каналу обратной связи поступают в организм и доходят до мозга (по чувствительным нервам). Получается *замкнутый (кольцевой) контур управления* (рис. 40). Эту простейшую схему надо уточнить: в подсистему управления сигналы обратной связи поступают и через подсистему исполнения, и непосредственно через отдельные органы чувств. Получается ряд

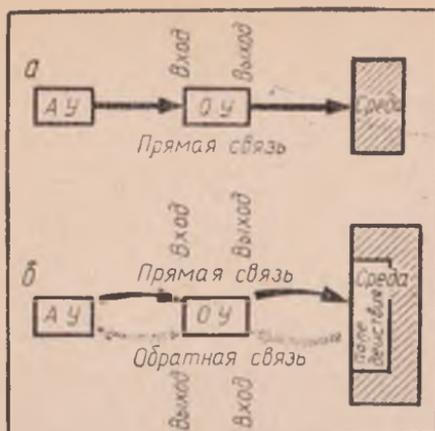


Рис. 40. Схема управления: а — с незамкнутым контуром; б — с замкнутым контуром; АУ — аппарат управления, ОУ — объект управления

обеспечивающая деятельность органов движения, на схеме (см. рис. 40) не показана.

После необходимой подготовки, которая может происходить даже в доли секунды, с учетом и окружения, и состояния организма подаются пусковые команды. В ходе движения по каналам обратной связи поступают сведения об изменениях и в окружении, и в состоянии организма (в самом широком смысле). На этой основе ведется текущее управление движениями, происходит их согласование, обеспечивается их целостность, соответствие внешним и внутренним изменениям, целенаправленность на решение задачи.

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

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

¹ Поле действия — та часть внешнего окружения, с которой происходит взаимодействие. На его моторную часть действуют движения человека, а от сенсорной части поступают сигналы.

Приведенные понятия кибернетики как науки об управлении соответствуют не только известным, но во многом еще неизвестным физиологическим процессам. Они служат принципиальной основой теории управления, выделяют главный смысл процесса управления, помогают понять значение каждой составной части схемы управления. Из этой схемы видно, как обратная связь служит необходимым условием текущего управления в сложных переменных условиях. Отсюда не следует, что сама обратная связь осуществляет управление. Без отличной работающей подсистемы управления никакая самая совершенная обратная связь сама по себе не решает задач управления.

Понимание кольцевого характера процесса управления исключает неверное представление о том, что достаточно создать совершенные команды и движения будут правильными. Н. А. Бернштейн, первый четко решивший в принципе задачу управления движениями, писал: *«Движение возможно лишь при условии тончайшего и непрерывного, не предусмотримого заранее согласования центральных импульсов (команд. — Д. Д.) с явлениями, происходящими на периферии тела».*

Невозможно правильно понять движения человека, их совершенство, пути их формирования, не считаясь с решающим фактором — с управлением движениями.

28.2. Информация и ее передача

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

Информация — душа управления. Она осуществляется посредством сигналов (к центру — сообщения, от центра — команды). Эти сигналы всегда связаны с материальным носителем, представляя собой результат взаимодействий вещества и энергии. Однако сама информация не материальна: она не вещество и не энергия, она содержание сигналов, используемых в управлении.

На пути информации ее носители могут сменяться неоднократно (звуковая волна, колебания элементов в слуховом аппарате, процесс возбуждения в слуховом нерве и т. д.). При каждой смене носителя происходит *п е р е к о д и р о в а н и е*¹ сигнала, т. е. превращение одной формы сигнала в другую, при сохранении его содержания. В пределах одного носителя информации ее содержание передают, *м о д у л и р у ю т*² сигнал, изменяя его меру. При кодировании и модулировании возможны некоторые искажения, представляющие собой проявление помех в каналах связи, что, естественно, усложняет управление.

Информация передается по каналам связи и используется для управления (рис. 41). Она поступает на «вход» соответствующей подсистемы, происходит *п р и е м и н ф о р м а ц и и*. В организме «входы» представляют со-

¹ К о д (франц.) — сборник условных сигналов.

² М о д у с (лат.) — мера.

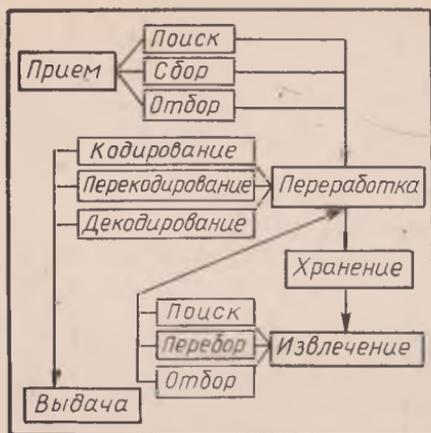


Рис. 41. Движение информации в самоуправляемой системе

бой неpassивные «входные ворота». Прием информации ведется активно: имеют место сложные процессы поиска, сбора и отбора сигналов. Необходим быстрый и точный прием только существующих сигналов, т. е. прием с известной избирательностью.

Поступившая в систему информация подвергается переработке, происходит преобразование информации. Это не только сложные процессы кодирования, перекодирования, декодирования, но и синтетическая переработка сигналов, получение нового смысла, повышение ценности информации, сопоставление, обобщение, переработка сведений в команды. Собственно говоря, на этом этапе и осуществляется чрезвычайно важная часть управления, так называемое

принятие решений. Речь идет не только о сознательных, произвольных решениях человека. Таких решений очень немного, малые доли процента от всех решений. В кибернетическом смысле речь идет о «решении» подать команду, изменяющую готовность (подготовительная команда) и движение (пусковая, управляющая, корректирующая, завершающая команды).

В процессе переработки информация так или иначе направляется на хранение в запоминающие устройства («память системы»). Следы воздействия, следы информации могут иметь совершенно различный характер — от умственной памяти (запоминание знаний) до рабочей гипертрофии мышц (следы информации от тренировки).

Различают кратковременную память, которая бывает иногда более отчетлива, но следы которой быстро стираются, и долговременную память, остающуюся надолго (например, умение плавать, остающееся на всю жизнь). Научиться чему-либо — это с точки зрения кибернетики значит накопить информацию в памяти. В любом действии происходит извлечение из памяти накопленной информации и использование ее для управления.

Наконец, передача информации в системе завершается ее выдачей на выходе системы. Из подсистемы управления она выдается в виде команд подсистеме исполнения, а из последней — в форме двигательной деятельности, преобразующей внешнее окружение и целесообразно изменяющей самого человека в процессе физического воспитания.

Для подготовки к действию используется предварительная информация. Она сообщает об условиях предстоящего действия, о состоянии подсистем исполнения и обеспечения, позволяет правильно провести подготовку к предстоящему действию, иногда очень неторопливую.

Во время самого действия поступает текущая информация, которая служит основой для успешного управления, особенно в переменных условиях.

Таким образом, в самоуправляемой системе происходит передача информации: непосредственная (прием, перера-

ботка, выдача) и с задержкой (сохранение в памяти, переработка и выдача). Строго говоря, без извлечения информации из памяти управление движениями не происходит. Такое разделение чисто условное; оно лишь подчеркивает удельный вес приема информации в этих процессах.

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

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

Чтобы установить, правильно или неправильно выполнено упражнение, нужно определить требования к нему. С этими требованиями сверяется, сличается действительное исполнение. В случае отклонений от требований осуществляется исправление (коррекция). Устанавливается, выполнено ли то, что требовалось. В следующей попытке вносятся поправки, улучшения.

Двигательная задача, отображенная в сознании, служит основой сознательной активной деятельности. Однако двигательные задачи формируются в системе управления и в менее заметной форме. Это своего рода модель потребного будущего (по Н. А. Бернштейну). Именно он открыл, что в организме не только человека, но и животных формируется такая модель будущего, как цель, которая достигается движениями.

Двигательная задача формируется с использованием информации о ситуации, о внешнем окружении, в котором будет выполняться задача, и о состоянии готовности организма, а также о прошлом опыте, извлекаемом из памяти. *Будущее формируется на основе настоящего и прошлого.*

При выполнении физических упражнений двигательная задача может быть более или менее определенно поставлена педагогом. Ее может сам для себя поставить ученик. Наконец, она может возникнуть, диктуемая изменением окружения, ходом соревновательной борьбы. Нередко эти источники постановки задачи сочетаются в различных комбинациях, но при этом остается главное: *чего следует достичь?*

Ясно, что далее логически следует вопрос: «Как это сделать?». На этот вопрос дает ответ программа управления.

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

В процессе физического воспитания развиваются двигательные качества, формируются двигательные навыки, создаются возможности решения двигательных задач. Несколько обобщая, можно

сказать, что с точки зрения управления движениями занятия физическими упражнениями обеспечивают накопление множества программ, накопление двигательных возможностей.

Формирование программ управления — очень многосторонний процесс, в связи с тем что и само управление имеет много сторон. Так, необходимы программы подготовки — предварительных изменений состояния системы перед действием и в ходе самого действия, перед каждой его фазой; программы выбора — определения варианта, наиболее соответствующего изменяющимся условиям; программы слежения — сопоставления фактического выполнения и оптимальной программы в данных условиях; программы цели — программы мобилизации возможностей перестройки движений при помехах для сохранения оптимального варианта действий; программы усиления — аварийные программы достижения цели даже не лучшим вариантом, использование резервов в тяжелой ситуации и др. Каждая из названных программ также требует многих более детализованных «подпрограмм». Это и не удивительно, так как управление движениями человека относится к сложнейшим процессам в мире. Таким образом, программа управления предопределяет путь и способы решения задачи на основе содержащихся в ней требований.

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

В этом контроле при выполнении физических упражнений, особенно в спорте, крайне важное место занимает самоконтроль на основе отчетливых двигательных представлений (см. 29.1).

Итак, управление движениями осуществляется благодаря передаче и переработке информации — устанавливается двигательная задача, выбираются необходимые выработанные ранее программы, а также создаются новые, передаются команды мышцам, ведется контроль над ходом действия.

28.3. Управление движениями в переменных условиях

Физические упражнения обычно выполняются в переменных условиях. Условия внешнего окружения бывают довольно постоянными (например, в гимнастике, легкой атлетике) или очень изменчивыми (например, в спортивных играх). Однако, если внешнее окружение даже мало изменяется, существуют две группы внутренних факторов, создающих переменные условия выполнения движений: неизбежные рассогласования напряжений нескольких сот мышц и многочисленные не предусмотримые заранее пассивные механические силы (инерционные и реактивные) внутри биомеханической системы.

Все воздействия на движения можно разделить на управляющие и сбивающие.

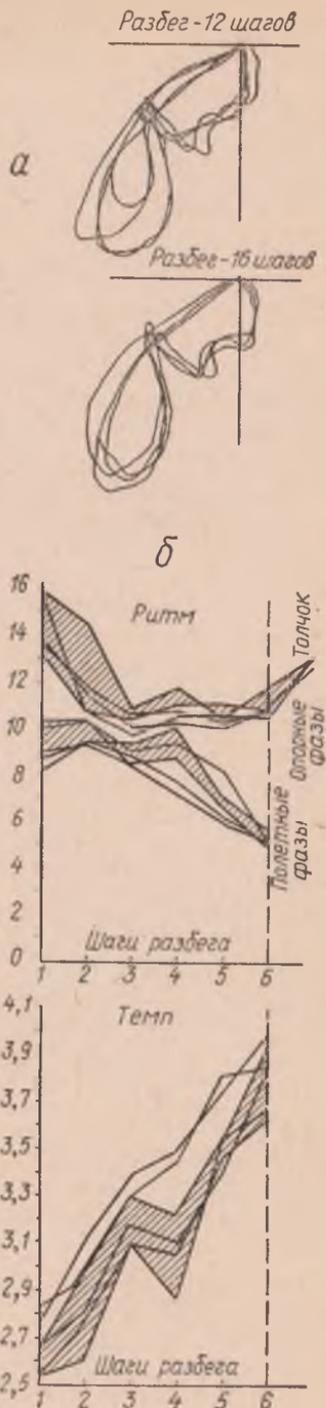
Управляющие воздействия — это напряжения мышц, посредством которых вызывают и изменяют соответствующие движения. Эти воздействия ведут к поставленной цели, обеспечивают выполнение двигательной задачи. Команды, посылаемые мышцам, благодаря обратной связи учитывают также и другие внутренние и внешние силы,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

Сбивающие воздействия всегда возникают при движениях. Их принято называть помехами¹. Они препятствуют достижению цели, могут нарушать правильность движений. Часть помех неустранима — это те силы, которые неизбежны в движениях в виде внешних сопротивлений (трение, сопротивление водной среды и т. п.). С этими помехами ведется борьба посредством приспособления к ним управляющих воздействий заранее и устранения возникающих отклонений от программы управления.

Даже при самом совершенном повторении упражнения под влиянием помех возникают отклонения. Это могут быть отклонения в разных характеристиках, у разных звеньев тела, в разные фазы движений. Всегда наблюдается изменчивость движений в

¹ Помехи могут быть механические: внешние (из внешнего окружения) и внутренние. Различают также помехи при передаче информации в каналах связи (немеханические).

Рис. 42. Разброс характеристик: а — динамических: силы отталкивания при прыжке в длину И. Тер-Ованесяна (по В. Н. Муравьеву); б — кинематических: ритм и темп шагов при прыжке в высоту В. Брумеля (по В. М. Дьячкову)



виде неповторимости характеристик, их разброса (рис. 42). Изменчивость можно рассматривать как приспособительную, случайную и коррекционную.

Приспособительная изменчивость характеризуется предварительными изменениями системы движений, которые соответствуют переменным условиям. В этом случае управляющие воздействия заранее приспособляются к предстоящим условиям действия.

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

Коррекционная изменчивость характеризуется изменениями для исправления возникающих отклонений. Это те изменения в управлении движениями, которые приостанавливают начавшееся случайное существенное отклонение и далее направлены на восстановление правильного выполнения программы. В основе коррекций лежит сличение заданной программы с текущим выполнением движений, выявление отклонений и их устранение¹. Для этого необходима программа, продиктованная двигательной задачей, и информация по каналам обратной связи об обстановке и ходе движений.

Различают положительную обратную связь, усиливающую течение процесса, и отрицательную, ослабляющую его. Оба вида связи осуществляются по одним и тем же каналам, одинаково необходимы как парные регуляторы и обеспечивают нужное изменение движений.

Отклонения, при которых еще не наступает ухудшение движения, снижение его эффекта, считают допустимыми. В пределах допустимых отклонений выполнение движений считается правильным. Более того, без отклонений, без изменчивости не может быть постоянства (стабильности) решения двигательной задачи.

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

¹ Точнее говоря, сличается не программа с движением, а ожидаемые сигналы (модель) с ранее полученными.

§ 29. Изменение систем движений при обучении и тренировке

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

29.1. Формирование и перестройка структур системы движений

При обучении новым упражнениям: а) используются соответствующие, ранее сформированные подсистемы движений; б) затормаживаются наличные подсистемы, непригодные для решения данной задачи; в) формируются новые подсистемы, необходимые для решения новой двигательной задачи; г) происходит (на этой основе) формирование структур вновь создаваемой системы движений.

Двигательная деятельность человека отличается чрезвычайной способностью к функциональной перестройке и накоплению форм поведения. С возрастным развитием организма и накоплением двигательного опыта создаются все большие возможности для использования ранее освоенных движений (рис. 43).

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

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

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

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

Процесс построения системы движений при первоначальном овладении физическим упражнением опирается на постановку ряда задач. Прежде всего необходимо ознакомление с новым упражнением (рассказ, показ), создание модели упражнения, установление требований к его выполнению.

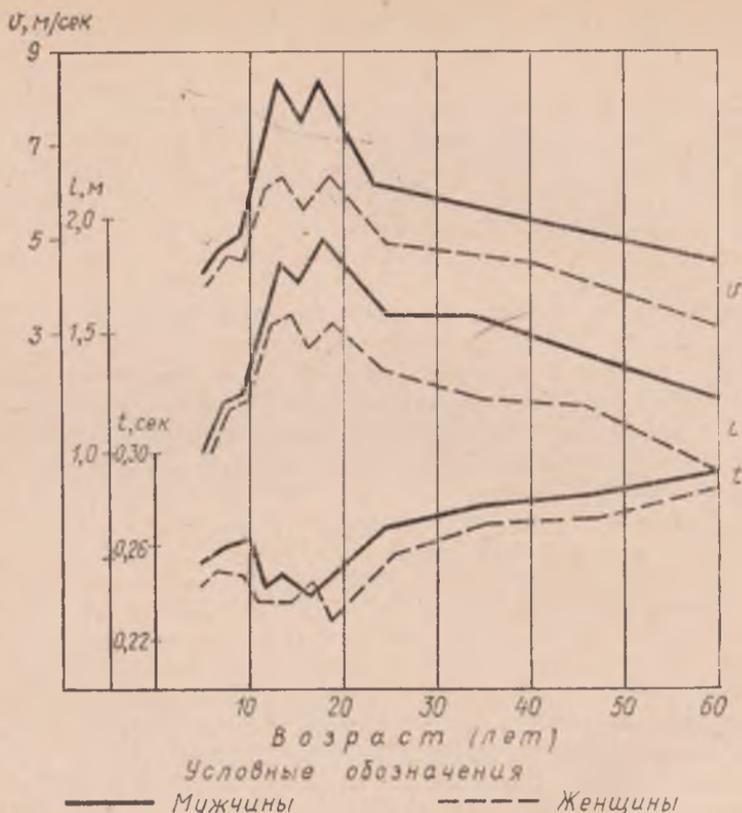


Рис. 43. Изменения параметров быстрого бега с возрастом: v — скорость, l — длина шага, t — длительность шага (по В. К. Бальсевичу)

Ознакомление включает в себя теоретическое понимание внешней картины (описание) и механизма (объяснение) движений; создание зрительного образа при наблюдении за показом; получение двигательных ощущений при первых попытках выполнения упражнения в целом или подводящих к нему упражнений. В результате ознакомления создается двигательное представление¹. Это происходит не сразу, а нередко после многократного повторения с уточнением на последующих ступенях обучения. В основе ознакомления лежат методы рассказа, показа и пробы.

¹ Двигательное представление включает в себя и результат чувственного познания, и итоги абстрактного мышления. В двигательное представление входят общие сведения о движениях, индивидуальный опыт, приемы самоконтроля над движениями. В известной мере это и двигательная задача, и программа управления.

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

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

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

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

Совершенствование техники начинается после завершения (в основном) формирования системы движений при начальном обучении и продолжается в течение всего времени, пока еще спортсмен тренируется. В основе совершенствования техники физического упражнения лежит перестройка системы движений. Взаимодействия между ее элементами приобретают все более упорядоченный характер; отклонения в исполнении движений, связанные с невысоким совершенством, недостаточной точностью движений, уменьшаются; приспособительные изменения, наоборот, расширяют границы допустимых отклонений, приспособляются к все большему кругу переменных условий; увеличивается помехоустойчивость и надежность исполнения; исчезают случайные существенные отклонения.

При обучении и совершенствовании устраняются ошибки и недостатки. Ошибки — это отклонения от выполнения требований, предъявляемых к движениям, от механизма движений. Эти отклонения выходят за допустимые пределы и нарушают правильность движений; основные ошибки — это нарушения основных требований, невыполнение того, что обязательно для данного упражнения. Частные ошибки не затрагивают основного механизма движений, но нарушают отдельные частные требования, что в конечном счете снижает качество и результат выполнения. От ошибок принято отличать недостатки: с качественной стороны все выполняется правильно, однако количественно не вполне соответствует требованиям. Для устранения

ошибки следует разрушить неправильные движения и их структуру. Для устранения недостатка не надо разрушать созданное, а следует только определенным образом изменить количественную меру, сохраняя сложившийся механизм.

29.2. Влияние возраста и половых различий на структуру движений

В детском, подростковом и юношеском возрасте наблюдаются значительные перестройки движений, их совершенствование. Это объясняется в первую очередь возрастными изменениями растущего организма. Происходит естественное (возрастное) развитие строения и формы опорно-двигательного аппарата. В результате физического развития, а также прогрессивных возрастных изменений вегетативной и нервной системы организма повышается уровень двигательных возможностей. Этот уровень характеризуется рядом его качественных сторон: быстротой, силой, выносливостью (двигательные качества).

В настоящее время установлено, что эти качества взаимосвязаны и совместно составляют единый комплекс (систему) двигательных возможностей. Вместе с тем каждое «качество» оказалось также своего рода подсистемой — комплексом качеств. Выделены скоростные качества (быстрота выполнения действия, максимальная частота движений, быстрота одиночного движения, время двигательной реакции, быстрота начала движения), силовые качества (статическая сила, напряжения мышц при преодолевающей и уступающей работе, «взрывная сила»), виды выносливости (общая, специальная, силовая, скоростная). К двигательным качествам относят гибкость, ловкость, а иногда и точность движений. Будучи неравномерно развитыми, все многочисленные и не всегда строго определенные качества составляют у каждого занимающегося своеобразный «спектр» качеств, или профиль двигательных возможностей (качеств).

Тот или иной профиль двигательных возможностей влияет на совершенство системы движений, на ее структуру. Для разных физических упражнений необходим соответствующий профиль и уровень конкретных двигательных качеств. В свою очередь повышение двигательных возможностей определяется как естественным (возрастным) развитием, так и целенаправленным¹ совершенствованием¹ при помощи педагогических воздействий. Уровень двигательных возможностей измеряется множеством проб, тестов, контрольных упражнений. Его показателем чаще всего служат биомеханические характеристики.

Огромное количество данных позволяет заключить: у растущего организма повышение уровня двигательных возможностей происходит наиболее быстро. Этот процесс имеет волнообразный характер (замедления, ускорения), прогрессирующее происходит неодно-

¹ Целенаправленное совершенствование качеств иногда не очень удачно называют «воспитанием качеств». Процесс воспитания относится к личности, а не к отдельным физиологическим механизмам (например, двигательная реакция).

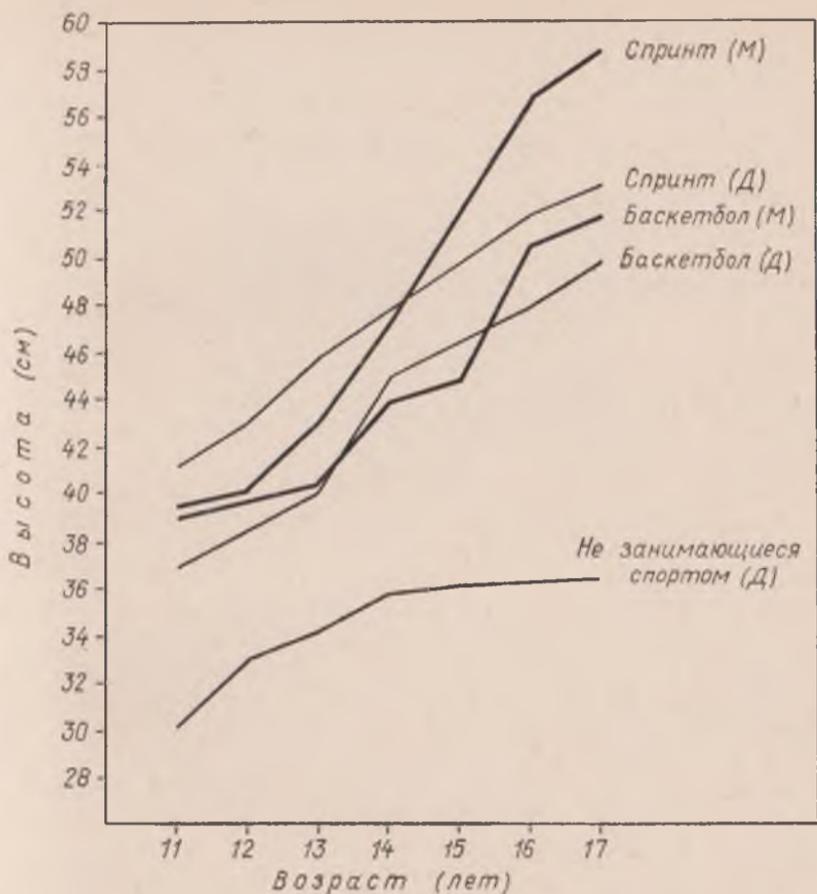


Рис. 44. Изменение скоростно-силовых качеств (по результатам прыжка в высоту с места) у мальчиков (М) и девочек (Д) в зависимости от возраста (по В. П. Филину)

временно по разным качествам и непараллельно. На темпы прироста двигательных возможностей влияют темпы развития организма: ускоренный (акселерация), нормальный, замедленный (ретардация), но особенно процесс целенаправленного физического воспитания. Все это чрезвычайно затрудняет выделение только возрастных конкретных особенностей уровня двигательных функций. Всегда сказывается влияние биологического (часто не связанного с паспортным) возраста и особенно физического воспитания.

Именно поэтому строго определенные возрастные изменения как двигательных качеств, так и двигательных навыков (проявляющихся в системах движений) до настоящего времени не изучены. Часто приходится ориентироваться не на возрастные показатели, а на показатели двигательных возможностей конкретного контингента.

В связи с этим особенно важно знать уровень и профиль двигательных возможностей занимающихся.

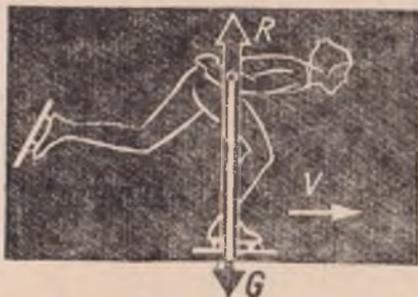
Кроме влияния уровня двигательных качеств, следует иметь в виду влияние нервной координации. По данным изучения ходьбы (Т. С. Попова) установлены стадии развития динамической структуры при ходьбе: а) 1—2 года — иннервационный примитив: несовершенство координаций, бедность центральных команд; б) 3—4 года — постепенное развитие иннервации: импульсов больше, согласование их точнее, движения увереннее, богаче деталями; в) 5—6 лет — избыточное образование структур: излишние детали управления; г) 8—10 лет — обратное развитие недоразвитых элементов: исчезновение лишних элементов, становление нормальной структуры. Если первые две стадии явно связаны с возрастным созреванием нервной координации, то последующие стадии больше напоминают овладение новыми движениями.

В школьном возрасте отчетливо прослеживается влияние систематических занятий спортом, которое отражается на результате, определяемом двигательными структурами (рис. 44). Так, в прыжке в высоту с места со взмахом руками у спортсменок после 14 лет продолжают расти результаты, а у незанимающихся спортом систематически рост результатов практически прекращается.

Половые различия в темпах развития более заметно проявляются в период полового созревания. Начиная с 9—11 лет постепенно увеличивается отставание двигательной функции у девочек и девушек по сравнению с мальчиками и юношами. Занятия спортом выравнивают количественное отставание, оставляя тем не менее различия между полами, которые отражены в программах физической культуры в школе.

БИОМЕХАНИКА ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ

ЧАСТЬ ВТОРАЯ



При биомеханическом обосновании физических упражнений главное внимание обращают на их биодинамику — исследование взаимосвязи приложения сил с вызванными ими изменениями движений. Иначе говоря, изучают, каким образом лучше всего использовать двигательные возможности для решения задачи действия.

В основе биодинамики упражнений лежит изучение кинематических и динамических характеристик. Здесь необходимо описать само фактическое выполнение движений в пространстве и во времени, а также объяснить механизм действия приложенных сил. Отличительной чертой биомеханики служит исследование движений, исходя из биологических особенностей тела человека как биомеханической системы (см. гл. II). Этим биомеханика отличается от просто механики движений, в которой моделью служит механизм (или абсолютно твердых тел). В биодинамике особенно важно изучать биологические источники сил и способы управления движениями.

В главах V—IX излагаются основные биодинамические закономерности ряда физических упражнений. В соответствии с программой по биомеханике здесь рассматривается биодинамика упражнений из видов спорта, входящих в школьные программы по физической культуре (гимнастика, легкая атлетика, лыжный спорт, плавание и спортивные игры).

В результате изучения материала этих глав должно сложиться отчетливое представление об эффективных способах и использовании механической энергии (в том числе и биологического происхождения) в физических упражнениях путем оптимального управления движениями.

В главе X излагаются общие положения биомеханического обоснования физических упражнений.

Задача изучения биомеханики физических упражнений: ознакомиться с основами биодинамики конкретных групп физических упражнений и, главное, научиться правильно подходить к разбору физических упражнений с точки зрения биодинамики.

Правильный подход означает прежде всего понимание чрезвычайной сложности двигательной деятельности человека. Вследствие этой сложности при изучении движений совершенно необходимо отвлечение от множества несущественных деталей. Это должно привести к выявлению самых важных особенностей и далее к неизбежному упрощению системы движений (в нашем представлении). Однако именно при упрощении следует тщательно следить за тем, чтобы не упустить главных сторон, не посчитать их малозначащими.

При разборе биодинамики физического упражнения нужно установить главные источники сил и пути их наиболее рационального использования. Установив силы и их совместное действие, этим самым определяют, как они обуславливают изменение движений.

Учет особенностей биомеханической системы опорно-двигательного аппарата поможет избежать чрезмерных упрощений и глубже проникнуть в биомеханическую структуру системы движений. Структурные взаимосвязи должны быть в своей основе ясны и учителю и ученикам, чтобы можно было целенаправленно, активно и сознательно управлять процессом обучения в физическом воспитании.

Гимнастические упражнения отличаются от многих других в первую очередь большой определенностью требований к позам тела в каждый момент выполнения упражнений. Пространственная картина движений, выполняемых в суставах тела, также очень определена. В настоящей главе в основном рассматриваются характерные для гимнастических упражнений закономерности сохранения положения тела, а также вращательных движений звеньев тела и всего тела.

СОХРАНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕЛА

Гимнаст сохраняет положение тела в исходных и конечных неподвижных положениях, а также в равновесиях. Кроме того, почти во всех упражнениях бывает необходимо сохранять положение в отдельных суставах.

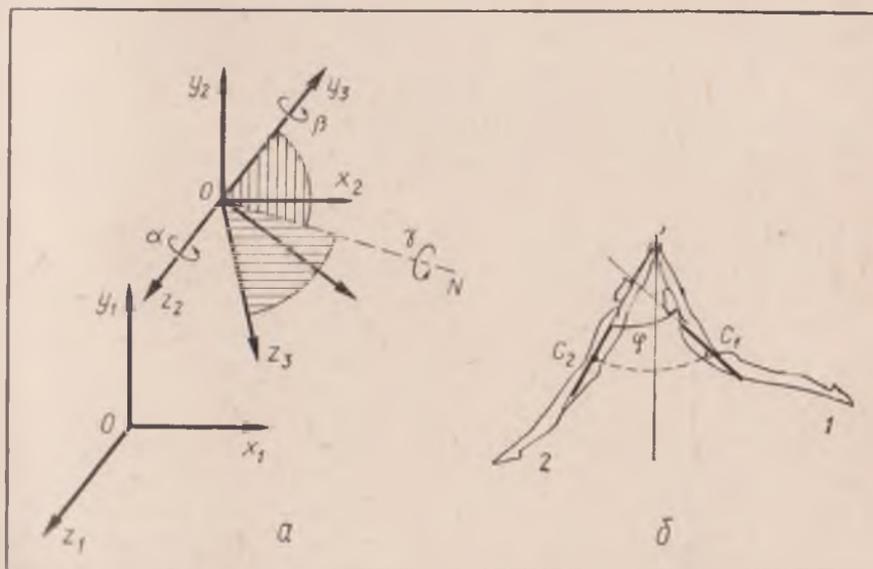


Рис. 45. Элементы, характеризующие положение тела: а — местоположение относительно неподвижной системы координат ($ox_1y_1z_1$) и ориентация относительно подвижной системы координат ($ox_2y_2z_2$) по поворотам α, β, γ ; б — по изменению местоположения ОЦТ ($C_1—C_2$), ориентации оси тела (φ) и позы (1—2) (по В. Т. Назарову)

Положение тела зависит: 1) от позы (взаимное относительное расположение звеньев тела); 2) от его ориентации в пространстве; 3) от местоположения тела в пространстве; 4) от отношения тела к опоре (рис. 45). Для сохранения положения тела нужно закрепить звенья в суставах и не допустить, чтобы внешние силы изменили его ориентацию в пространстве, местоположение (исключить повороты и перемещения) и его связь с опорой. Названные задачи решаются посредством уравнивания действующих сил и моментов сил. Основу сохранения положения тела составляет уравнивание сил.

§ 30. Условия равновесия тела и системы тел

30.1. Силы, уравниваемые при сохранении положения

К биомеханической системе приложены силы тяжести, опорные реакции, мышечные тяги, веса, а также усилия партнера или противника и др. (рис. 46). Все силы могут быть и возмущающими (нарушающими положение), и уравнивающими (сохраняющими положение).

Силы тяжести (дистантные) приложены к центрам тяжести звеньев и ОЦТ тела гимнаста. В зависимости от конкретных особенностей положения тела они могут либо опрокидывать его, либо уравнивать другие возмущающие (отклоняющие, опрокидывающие) силы.

Опорные реакции представляют собой противодействие опоры действию на нее тела. Чаще всего они совместно с другими силами уравнивают опорные звенья, закрепляют их неподвижно.

Вес звеньев тела (контактные силы) приложен к соседним звеньям как следствие земного тяготения, действия сил тяжести.

Силы мышечной тяги при сохранении положения обычно уравнивают своими моментами моменты силы тяжести соответствующих звеньев и веса связанных с ними других звеньев. Эти же силы могут и изменять положение тела, и восстанавливать его. Силы тяги мышц сохраняют позы,

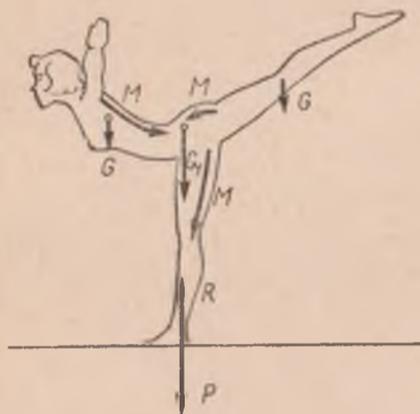


Рис. 46. Силы, приложенные при сохранении положения: G — силы тяжести; R — реакция опоры; M — сила мышечной тяги; P — вес

фиксируя положения звеньев в суставах. Именно управляя мышечными силами, гимнаст обеспечивает сохранение положения своего тела.

10.2. Условия уравнивания действия сил

Для уравнивания действия на тело всех сил необходимо, чтобы главный вектор и главный момент внешних сил были равны нулю, а все внутренние силы обеспечивали сохранение позы.

Все внешние силы можно условно привести к ОЦТ тела гимнаста (присоединяя соответствующие моменты сил). Равнодействующая сил, приложенных к ОЦТ, — главный вектор — обуславливает его линейное ускорение. Если главный вектор равен нулю, то и ОЦТ не изменит своей скорости (а если она равна нулю, то и своего положения).

Сумма всех моментов внешних сил, приложенных к телу, дает главный момент (рис. 47). Он обуславливает угловое ускорение тела. Если главный момент и главный вектор равны нулю, то тело не изменит своего положения. Иначе говоря, в этом случае внешние силы не смогут ни сдвинуть, ни повернуть тело, его положение сохранится неизменным.

В случае если до приложения рассматриваемых (уравновешенных) сил и их моментов тело двигалось, естественно, тело не изменит этого движения. Это частный случай уравнивания сил, но не сохранения положения. Так, например, можно сохранить позу (но не положение!) в полете, в движении без опоры.

Подчеркнем, что для сохранения положения тела гимнаста необходимо сохранение его позы (как бы «отверждение тела»), но не всегда сохранение позы достаточно для сохранения положения всего тела. Так называемая динамическая осанка (см. § 33) при выполнении упражнений есть сохранение в основном позы группы звеньев, но не положения тела в целом.

10.3. Виды равновесия тела и его устойчивость

Вид равновесия тела определяется по действию силы тяжести в случае сколь угодно малого отклонения в положении тела: а) устойчивое — возвращение тела в прежнее положение при любом отклонении; б) ограниченно-устойчивое — воз-

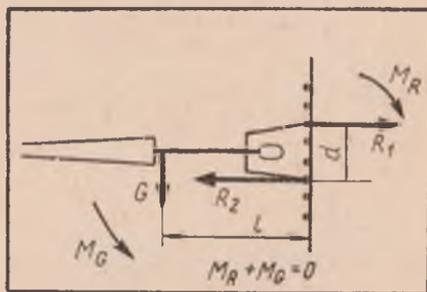


Рис. 47. Главный момент при сохранении положения («флажок») на гимнастической стенке равен нулю

вращение тела в прежнее положение только при отклонении в определенных границах; в) неустойчивое — обязательное опрокидывание при малейшем отклонении.

Вид равновесия тела определяется по действию силы тяжести на него во время отклонения. Если при отклонении тела его ОЦТ поднимается вверх, потенциальная энергия тела (в поле тяготения Земли — притяжение к Земле) повышается, а сама сила тяжести образует момент, направленный на восстановление положения (рис. 48, а). Это устойчивое равновесие. Оно характерно для верхней опоры, когда тело к ней подвешено.

При нижней опоре тело можно отклонять до тех пор, пока линия тяжести (или вертикальная проекция ОЦТ) не дойдет до границы площади опоры. До этой границы сила тяжести образует момент устойчивости, который может восстановить положение равновесия. До этой же границы по мере отклонения тела его ОЦТ поднимается вверх, что требует затрат энергии, которая превращается в добавочную потенциальную энергию тела. Если продолжать опрокидывать тело, перейдя эту границу, потенциальная энергия начнет уменьшаться (преодоление «потенциального барьера»), момент силы тяжести будет уже опрокидывающим моментом. В пределах «потенциального барьера» равновесие ограниченно-устойчивое (рис. 48, б).

Неустойчивое равновесие встречается только при нижней опоре в виде точки опоры или отрезка прямой линии. Достаточно отклонить тело в любую сторону, как его ОЦТ опускается ниже, потенциальная энергия уменьшается, момент силы тяжести является опрокидывающим. Такого равновесия в природе не существует — это абстрактная модель. В реальных условиях малейшее отклонение прекращает равновесие.

Следует упомянуть о безразличном равновесии: при любом отклонении ОЦТ не меняет высоты расположения, момента силы тяжести не возникает (шар, цилиндр, круговой конус на горизонтальной поверхности). У человека такое равновесие может быть только в невесомости. Неустойчивого и безразличного равновесия для человека практически не существует. Равновесие устойчивое наблюдается только в висах, а ограниченно-устойчивое — при нижней опоре.

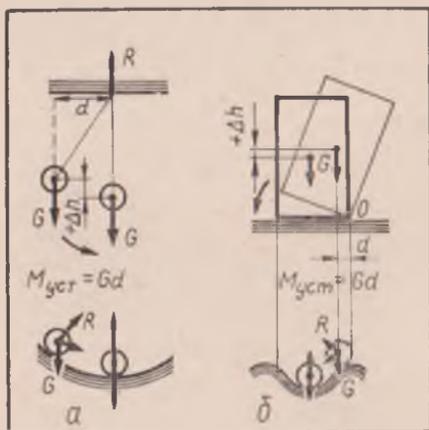


Рис. 48. Виды равновесия: а — устойчивое; б — ограниченно-устойчивое

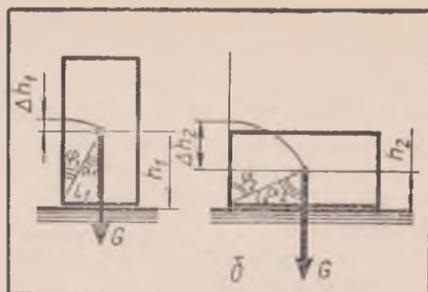
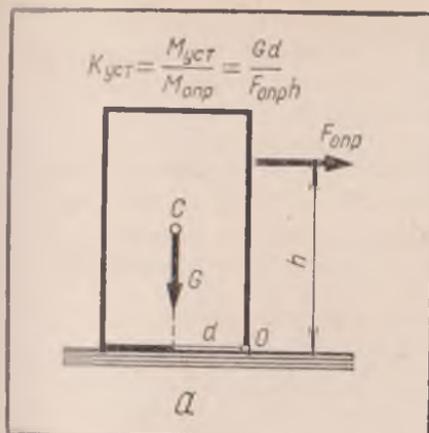


Рис. 49. Показатели устойчивости в ограниченно-устойчивом равновесии: а — статический (коэффициент устойчивости); б — динамический (угол устойчивости α)

Степень устойчивости тела человека (в разных положениях) характеризуется его статическими показателями — способностью сопротивляться нарушению устойчивости в определенных направлениях, а также динамическими — способностью восстанавливать положение.

Устойчивость определяют для ограниченно-устойчивого вида равновесия. Не следует смешивать вид равновесия со степенью устойчивости. Вид равновесия определяет лишь принципиальные пути сохранения положения. Показатели же устойчивости определяют меру возможностей сохранения положения.

Статический показатель устойчивости определяется отношением двух моментов силы: момента устойчивости к моменту опрокидывания. Это соотношение называется коэффициентом устойчивости (рис. 49, а).

Момент устойчивости (предельный) равен произведению силы тяжести тела на ее плечо относительно линии опрокидывания в самом начале отклонения от положения покоя. По мере увеличения отклонения плечо силы тяжести укорачивается и момент устойчивости становится меньше.

Момент опрокидывания равен произведению опрокидывающей силы и ее плеча относительно той же линии опрокидывания. Когда коэффициент устойчивости больше единицы, тело не опрокинуть. Он характеризует способность тела своей силой тяжести сопротивляться опрокидыванию в данных условиях.

Динамический показатель устойчивости определяется углом устойчивости. Угол устойчивости образован линией действия силы тяжести и прямой, соединяющей центр тяжести с соответствующим краем площади опоры (рис. 49, б).

Физический смысл угла устойчивости заключается в следующем. Чтобы отклонить тело до положения, когда его центр тяжести ока-

жется над линией опрокидывания (граничное положение тела над вершиной потенциального барьера) и возникнет неустойчивое равновесие, нужно повернуть его в соответствующей вертикальной плоскости на определенный угол. Если центр тяжести расположен ниже, а его проекция дальше от края опоры, то момент устойчивости восстановит положение на большем пути отклонения, запас возможностей восстановления больше, степень устойчивости больше.

Угол устойчивости показывает, в каких пределах еще действует момент устойчивости.

Статический и динамический показатели устойчивости в полной мере применимы для оценки положения только твердого тела или в случаях, когда поза человека неизменна. Для человека (как биомеханической системы) при оценке устойчивости положения надо учитывать еще ряд обстоятельств. Во-первых, поверхность опоры почти всегда больше площади эффективной опоры. Это значит, что линия опрокидывания всегда расположена внутри границы поверхности опоры. Мягкие ткани и недостаточно сильные мышцы не могут уравновесить нагрузку, и опрокидывание будет раньше, чем линия тяжести пересечет край опорной поверхности. Во-вторых, тело человека при попытке опрокидывания не сохраняет позы, а изменяет свою конфигурацию, его звенья перемещаются в тех или иных суставах.

Значит, показатели устойчивости твердого тела в применении к телу человека дают возможность только в самой общей форме оценить механические условия его устойчивости.

Следует заметить, что здесь рассматривались только условия равновесия тела, находящегося под действием силы тяжести. При сохранении положения тела человека приходится уравнивать не только силу тяжести, но и многие другие силы. С точки зрения задачи уравнивания сил можно выделить три вида статической работы мышц:

1) удерживающая работа — против момента силы тяжести (рис. 50, а); моментами силы тяги мышц уравновешены моменты сил тяжести звеньев;

2) укрепляющая работа — против сил тяжести, действующих на разрыв (рис. 50, б); силы мышечной тяги укрепляют сустав, принимают на себя нагрузку;

3) фиксирующая работа — против сил тяги мышц-антагонистов (рис. 50, в) и других сил; силы мышечной тяги лишают

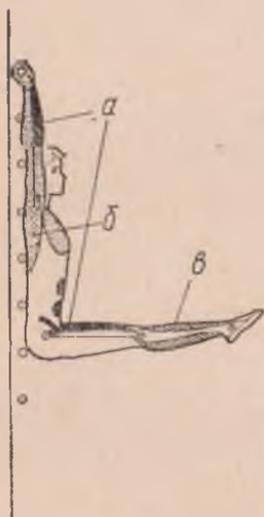


Рис. 50. Виды статической работы мышц при сохранении положения: а — удерживающая; б — укрепляющая; в — фиксирующая

менно возможностей движения, действуя друг против друга по направлению, но совместно по задаче.

С точки зрения механики это одинаковые случаи — уравнивание сил. С точки зрения биомеханики здесь имеется качественное различие в двигательной задаче и в управлении мышцами при ее решении.

§ 31. Сохранение и восстановление положения тела человека

31.1. Условия устойчивости тела человека

Устойчивость тела человека определяется его возможностями активно уравнивать возмущающие силы, останавливать начинающееся отклонение и восстанавливать положение.

Уравнивание возмущающих сил происходит при равенстве нулю главного вектора и главного момента всех внешних сил. Силы тяги мышц (уравнивающие силы) никогда не бывают постоянными. Это зависит от не полностью упорядоченного включения и выключения групп мышечных волокон при напряжении мышц (см. 15.1), сюда присоединяются и реакции на отклонения, возникшие по этой причине. В связи с этим устойчивость тела человека характеризуется равновесием колебательного типа.

Как уже отмечено (см. 30.3), гимнаст не может использовать всей поверхности опоры для сохранения положения тела. Площадь эффективной опоры соответствует зоне сохранения положения. Гимнаст может расположить ОЦТ своего тела в любом месте этой зоны и сохранить положение.

Величина зоны сохранения положения зависит от физических сил гимнаста (возможности сохранения позы) и его технической подготовленности (навык сохранения положения). В ее пределах он может остановить начавшееся отклонение.

Внутри зоны сохранения положения можно выделить меньшую — оптимальную — зону положения ОЦТ тела. В пределах этой зоны гимнаст лучше всего сохраняет требуемое положение. Когда колебания тела выводят ОЦТ тела из оптимальной зоны, устойчивость еще достаточно высокая. Когда колебания тела выведут ОЦТ тела за пределы зоны сохранения положения, наступает опрокидывание. Механическая система не может в этом случае сама под действием только силы тяжести восстановить положение. Без дополнительного внешнего воздействия падение неизбежно.

Гимнаст, стремясь сохранить положение (даже утратив равновесие), с помощью активных действий может еще восстановить положение в известных пределах отклонения. Зона восстановления положения — это область, в которой невозможно равновесие, но из которой гимнаст еще способен вернуться в заданное положение.

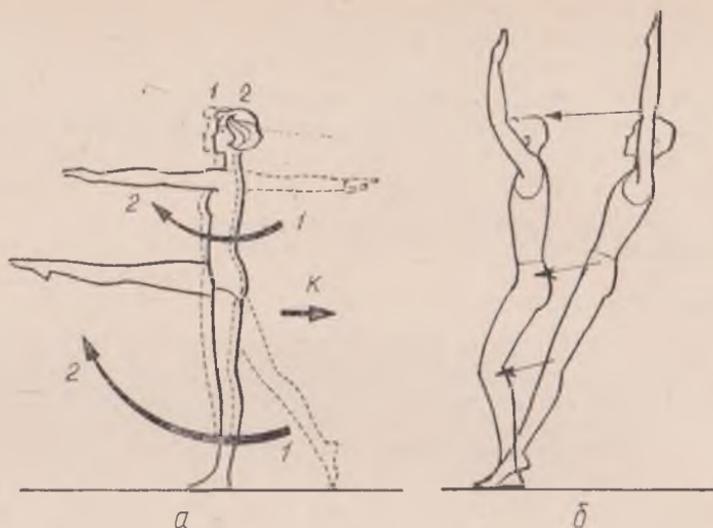


Рис. 51. Сохранение положения тела: *а* — компенсаторными движениями; *б* — амортизацией

Все зоны (оптимальная, сохранения и восстановления положения) индивидуально очень различны. Они зависят от физических качеств, двигательных навыков, физического и эмоционального состояния спортсмена. *Устойчивость тела гимнаста хотя и зависит от механических условий равновесия тела, но определяется главным образом другими факторами.*

При упражнениях на снарядах с использованием хвата имеют место удерживающие связи, создаются условия иные, чем при не удерживающей связи (на опоре). Однако всегда основное условие равновесия выполняется.

31.2. Управление сохранением положения

Сохранение положения тела гимнаста достигается управлением уравнивающими и восстанавливающими силами при компенсаторных, амортизирующих и восстанавливающих движениях.

Компенсаторные¹ движения (рис. 51, *а*) направлены на предупреждение выхода ОЦТ тела за пределы зоны сохранения положения при возмущающих воздействиях и при собственных движениях на месте. Компенсаторные движения нейтрализуют воздействие возмущающих сил на ОЦТ тела. Эти движения выполняются обычно в то же время, что и отклонения, о д н о в р е

¹ Компенсация (лат.) — возмещение.

менно с ними. Кроме того, они, как правило, выполняются автоматически, без обращения на них внимания.

Амортизирующие¹ движения (рис. 51, б) уменьшают эффект действия возмущающих сил. Это обычно уступающие движения, которые направлены в сторону действия возмущающей силы. Они замедляют начавшееся отклонение и останавливают его. Их выполняют (как и компенсаторные движения) одновременно с действием возмущающих сил.

Восстанавливающие движения направлены на возвращение ОЦТ тела в зону сохранения положения из зоны восстановления положения. Гимнаст уже выведен из состояния равновесия и согласно законам механики должен упасть. Однако есть два пути восстановления положения: либо под действием внешней силы вернуть ОЦТ тела, переместить его в зону сохранения равновесия, либо, переместив точку опоры, «подвести» ее под ОЦТ тела.

Нередко приходится сочетать два, а то и все три способа сохранения и восстановления положения в виде одного комбинированного действия. Таким образом, сохраняя положение, гимнаст управляет своими движениями, борется со сбивающими силами активно, что принципиально отличается от пассивного уравнивания неживых тел.

§ 32. Разбор гимнастических положений тела

Во всех гимнастических упражнениях с сохранением положения тела приходится решать две задачи: сохранить заданную позу и обеспечить устойчивость тела.

32.1. Стойки

Стойки представляют собой положения тела с вертикальной ориентацией и нижней опорой. Они выполняются с опорой ногами, а также в положении ногами вверх.

Стойки могут выполняться как на опорной плоскости (полу), так и на гимнастических снарядах. Обычно это ограниченно-устойчивый вид равновесия.

Стойка на предплечьях² (рис. 52). В этом положении туловище, ноги и плечи ориентированы вертикально (ногами вверх), руки согнуты в локтевых суставах под прямым углом, голова и шея в разогнутом положении. Опора тела происходит на предплечья и кисти, которые пронированы и расположены на опоре ладонными поверхностями вниз.

¹ Амортизация (лат.) — погашение.

² Здесь и ниже во всех случаях разбора физических упражнений приводятся только примеры упражнений с обращением внимания на общие биодинамические закономерности, изложенные в данной главе, а не полный биомеханический анализ (см. § 44—46).

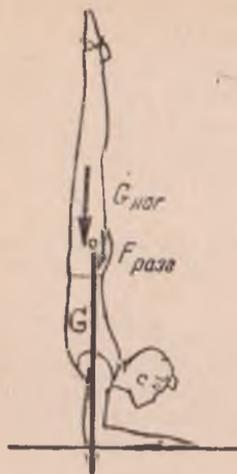


Рис. 52. Стойка на предплечьях: момент силы тяжести ног уравновешен моментом тяги мышц — разгибателей бедра относительно тазобедренных суставов

На все части тела действуют их силы тяжести, приложенные к соответствующим центрам тяжести. Каждое вышерасположенное звено действует своим весом на нижерасположенные. Вес всего тела (кроме предплечий и кистей) через локтевые суставы приложен к предплечьям. Действие на опору передается через предплечья и кисти. Во многих случаях можно условно считать, что вес всего тела передается на опору в том месте, где проходит направление равнодействующей всех сил тяжести (проекция ОЦТ тела гимнаста). Однако никогда нельзя забывать, что любая равнодействующая представлена мысленно и в действительности как одна сосредоточенная сила, приложенная к данной точке, не существует. В действительности вес всего тела — это сила распределенная, поверхностная, приложенная как бесчисленное множество сил ко всем точкам опорной поверхности. Причем в зависимости от позы распределение давления

на опору может изменяться. Это очень важно, так как именно поза и ее изменение определяют устойчивость тела.

Действию на все нижерасположенные звенья и опорную поверхность имеется противодействие опорных реакций и й. Оно имеется во всех местах передачи давления от вышерасположенных частей тела, приложено именно к ним и направлено снизу вверх. Не лишне напомнить, что никогда действие и противодействие, направленные в разные стороны и приложенные к разным телам, не дают равнодействующей и взаимно не уравниваются. Каждая из сил (действия и противодействия) дает свой эффект.

И наконец, уравниваются не вес всего тела (действие) и общая опорная реакция (противодействие), а вес вышерасположенных частей тела, приложенный к опорным звеньям, плюс сила тяжести этих звеньев и опорная реакция, приложенная снизу к этим звеньям.

На первый взгляд уравниваются сила тяжести всего тела и опорная реакция. В принципе это верно. Имеются лишь эти две внешние силы. Однако задача сохранения позы требует тщательного биодинамического анализа всех взаимодействий, что гораздо сложнее общей принципиальной схемы.

Только при п а с с и в н о м сохранении положения тела уравниваются сила тяжести и опорная реакция. Для активного сохранения положения тела необходимо еще и напряжение мышц. Именно оно обеспечивает сохранение позы и устойчивость

тела, точнее говоря, обеспечивает устойчивость путем сохранения позы.

Разберем работу мышц, направленную на сохранение позы. Начнем разбор с вышерасположенных звеньев, поскольку своим весом они влияют на условия равновесия нижерасположенных звеньев. Для этого надо определить положение ЦТ каждого звена, направленные линии тяжести¹ и плечо силы тяжести относительно нижерасположенной опоры (соответствующий сустав для каждой части тела). Выяснив направление момента силы тяжести звена, устанавливаем, как направлен относительно этой опоры главный момент всех мышечных сил, который уравнивает собой момент силы тяжести.

Так, в стойке на предплечьях ноги, туловище и плечи гимнаста выпрямлены. Моменты сил тяжести обычно невелики, поэтому и удерживающая работа мышц (см. 30.3) невелика. Но тело должно представлять единое твердое звено, поэтому все мышцы, проходящие мимо суставов, напряжены при выполнении фиксирующей работы.

При значительной площади опоры целесообразна такая поза, когда имеется достаточно большой угол устойчивости в направлении вперед и назад. Чтобы уменьшить момент силы тяжести частей тела относительно локтевых суставов, а следовательно, и момент силы разгибателей этих суставов, гимнаст отодвигает тело ближе к вертикали этих суставов.

Удерживающая работа характерна здесь для мышц-разгибателей шеи и головы, удерживающих голову в заданной позе.

32.2 Упоры

Упоры — это положения тела, при которых гимнаст располагается плечами выше опоры (пол, снаряд), опираясь на нее руками (или еще другими частями тела).

Упор углом (рис. 53).

В этом положении руки при опоре кистями о снаряд (или пол) выпрямлены, туловище и шея тоже выпрямлены и ориентированы вертикально, а поднятые вперед ноги (горизонтально) образуют с туловищем приблизительно прямой угол.

В этом положении имеют место все виды статической работы мышц. Ноги вытянуты горизонтально. В голеностопных суставах — фиксирующая

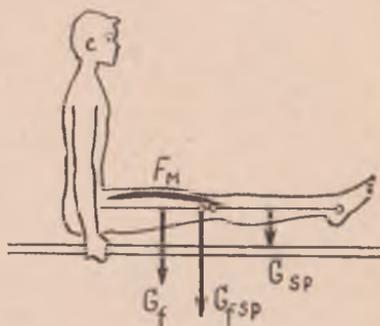


Рис. 53. Упор углом: моменты силы тяги мышц уравнивают моменты сил тяжести G_f и G_{SP}

¹ Линией тяжести условно называют линию действия силы тяжести.

работа мышц — носки оттянуты (подошвенное сгибание стоп) против сопротивления разгибателей (тыльных) стоп. В коленных и тазобедренных суставах мышцы удерживают ноги от опускания вниз под действием их моментов сил тяжести в соответствующих суставах (разгибатели коленных и сгибатели тазобедренных). Надо учесть, что растянутые двусуставные мышцы задней поверхности бедра (полусухожильные, полуперепончатые и двуглавые — длинные головки) сопротивляются разгибанию коленных и сгибанию тазобедренных суставов.

Обе выпрямленные руки (с напряжением мышц, фиксирующих суставы) представляют опору в плечевых суставах поясу верхней конечности. Туловище как бы подвешено к этим двум опорным пунктам. Совместное действие силы тяжести туловища (плюс голова и ноги) и опорных реакций плечевых суставов создает моменты сил, под действием которых туловище не должно провалиться между плечевыми суставами. Удерживающее напряжение мышц, подходящих снизу к поясу верхней конечности (опускающих ключицы и лопатки, больших и малых грудных мышц, широчайших спины и др.), удерживает туловище от опускания вниз. Туловище, подвешенное к верхней опоре, находится в устойчивом равновесии (как маятник). Для всего же тела в целом (поскольку ОЦТ тела гимнаста выше опоры) данное положение представляет собой ограниченно-устойчивое равновесие.

Поскольку силы веса, действующие на части тела ниже плечевых суставов, направлены «на разрыв» позвоночника, мышцы туловища осуществляют и укрепляющую работу.

32.3. Висы

Висы — это положения тела, при которых гимнаст располагается плечами ниже опоры, удерживаясь руками или ногами (простые), либо имеет смешанную опору (руки и ноги).

Вис согнувшись (рис. 54). В этом положении тело согнуто в тазобедренных суставах, ноги подняты и находятся над туловищем, выпрямлены (фиксирующая работа), удерживаются относительно тазобедренных суставов против моментов их сил тяжести (удерживающая работа). Такая же удерживающая работа имеет место для сохранения положения головы относительно туловища и туловища в плечевых суставах.

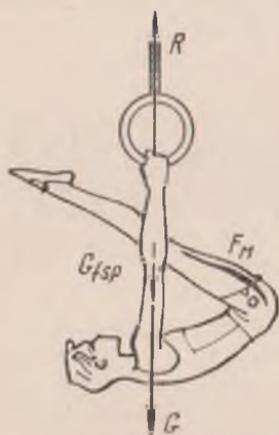


Рис. 54. Вис согнувшись: G — сила тяжести всего тела уравновешена R — реакцией опоры; момент силы тяжести ног (G_{fsp}) уравновешен относительно тазобедренных суставов моментом силы тяги разгибателей бедра (F_m)

Следует еще отметить удерживающую работу мышц, приводящих лопатки. Эти мышцы сопротивляются провисанию туловища между плечевыми суставами.

Мышцы локтевых и лучезапястных суставов выполняют укрепляющую работу, противодействуя весу «повешенных» частей тела. Центр тяжести всего тела гимнаста находится под осью подвеса, причем сохраняется устойчивый вид равновесия.

§ 33. Биодинамика осанки

Осанка — это сложившаяся привычная поза человека, сохраняемая при определенных условиях.

Понятие осанки обычно относят к вертикальной позе человека в положении стоя. В известной мере осанка сохраняется для верхних частей тела в положении сидя. Характерные позы велосипедиста, фехтовальщика, лыжника, всадника по сути дела тоже виды осанки, но их принято называть посадкой, стойкой и т. п.

Осанки, сохраняемые при неизменных условиях, называют статическими, а сохраняемые при переменных условиях (изменение ориентации в пространстве) — динамическими.

33.1. Статическая осанка

В положении стоя различают ряд требований к осанке как при неподвижности, так и при небыстрых передвижениях. В основном эти требования относятся к конфигурации позвоночного столба. Вследствие взаимодействий звеньев тела конфигурация позвоночника обусловлена положением связанных с ним звеньев: головы, пояса верхней конечности, таза (рис. 55).

В положении стоя голова удерживается против момента ее силы тяжести разгибателями головы. Поскольку при положении стоя вследствие шейного лордоза вес головы направлен на сгибание шейного отдела позвоночника, удерживающую работу совершают и мышцы шеи. Удерживание головы при некотором опускании ее вперед вниз рефлекторно способствует увеличению грудного кифоза. Удерживание головы при небольшом разгибании шеи (подбородок «на себя») уменьшает шейный лордоз и способствует уменьшению и грудного кифоза.

Пояс верхней конечности может быть выведен вперед и лопатки отведены от позвоночника, что тоже связано с увеличением грудного кифоза. Это плохая осанка, при которой изменяются не только изгибы позвоночника, но и конфигурация верхней части туловища.

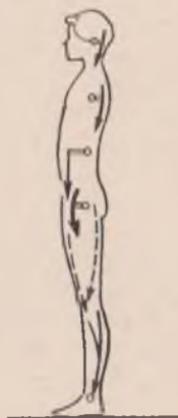


Рис. 55. Статическая осанка: моменты сил мышц, уравновешивающие моменты сил тяжести звеньев

При разборе влияния положения головы и пояса верхней конечности на осанку можно заметить некоторое влияние механических сил. Однако, по-видимому, большее влияние оказывают рефлекторные тонические отношения вследствие взаимного влияния напряжения групп мышц.

На изгибы позвоночника существенно влияют весá расположенных выше частей и отделов туловища, а также головы и верхних конечностей. Напряжение (удерживающее) мышц, противодействующих моментам сил тяжести, уменьшает изгибы.

На изгибы позвоночника влияют не только вышерасположенные, но и нижерасположенные звенья тела. Существенно влияет на изгибы позвоночника положение таза. Он опирается на тазобедренные суставы. В зависимости от напряжения мышц—сгибателей и разгибателей этих суставов таз может больше или меньше наклоняться поворотом вокруг поперечной оси, тем самым соответственно увеличивая или уменьшая изгибы позвоночника, начиная с поясничного лордоза.

Наконец, на осанку влияет и наклон голеней в голеностопных суставах: при большем наклоне таз выводится вперед и уменьшает наклон, при меньшем — наоборот.

Чрезмерные старания ликвидировать недостатки осанки приводят к ее нарушению в сторону другой крайности. Из-за большого количества факторов, определяющих осанку, встречается большое количество вариантов отклонений от нормальной осанки, что отражается в классификации ее нарушений.

Нарушения осанки обычно связаны с ограничениями подвижности в суставах. Одни мышцы оказываются ослабленными и слишком растянутыми, другие—их антагонисты — укороченными, ограничивающими движение. Отсюда мероприятия по восстановлению правильной осанки направлены на увеличение подвижности звеньев тела, укрепление ослабленных мышц, растягивание укороченных. Вследствие этих сдвигов необходимо установить правильный баланс напряжений мышц, обуславливающих как изгибы позвоночника, так и положения связанных с ним частей тела.

Казалось бы, относительно длительно действующие причины (неправильные размеры парты и др.) трудно преодолеть, применяя кратковременные корректирующие упражнения. Однако эти упражнения создают улучшенный баланс напряжений мышц. И очень существенно то, что создается установка на поддержание правильной осанки.

33.2. Динамическая осанка

При выполнении гимнастических упражнений на снарядах необходимо соблюдать требования к позе, несмотря на изменение ориентации тела в пространстве и зависящее от этого изменение действия внешних сил.

Внешние силы (силы тяжести и опорных реакций) вызывают появление в теле человека множества внутренних сил взаимодействия между звеньями тела — сил веса соседних звеньев и соответствующих опорных реакций в суставах. При перемене ориентации тела во время упражнений на снарядах для сохранения заданной позы необходимо изменять напряжения многих групп мышц. Так, в маховых упражнениях на снарядах сохраняется требование выпрямленного положения рук, ног, туловища. Для выполнения элементов необходимы лишь управляющие движения в тазобедренных и плечевых суставах в соответствующие фазы упражнения (рис. 56).

Сохранение динамической осанки в отличие от статической достигается строго координированной сменой напряжений мышц тела.

Овладение динамической осанкой целесообразно осуществлять последовательно: сначала сохранение ее в соответствующем упражнении висе или упоре на снаряде; далее в условиях, приближенных к реальным условиям исполнения упражнения, но упрощенных, облегченных и, наконец, при исполнении упражнения полностью. От качества овладения динамической осанкой во многом зависит успешность овладения упражнениями.

ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ УПРАЖНЕНИЯ

Выполняя вращательные упражнения, гимнаст совершает движение вокруг оси как всем телом, так и отдельными звеньями и их группами в суставах. Кроме вращательного движения, в движениях вокруг оси в большей или меньшей степени наблюдается движение вдоль радиуса. Оно может быть направлено к оси вращения и от нее. Именно радиальное движение заставляет учитывать не только законы вращения тел, но и сложные взаимодействия, возникающие при этом. Кроме того, как раз радиальное движение часто служит для управления всем так называемым вращательным упражнением. Задача изменения вращения гимнаста во вращательных упражнениях решается целым рядом способов, основанных на использовании законов вращательного движения, но почти всегда включающих выполнение радиальных движений.

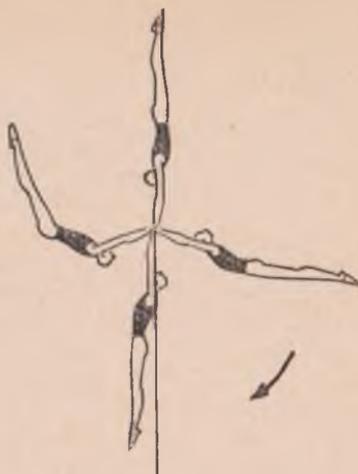


Рис. 56. Динамическая осанка: сохранение основных требований к осанке во время выполнения большого оборота на перекладине

§ 34. Движения тела человека и его звеньев вокруг оси

34.1. Механизм вращательного движения

Движение вращающегося тела по дуге окружности происходит при наличии центростремительного ускорения, вызванного воздействием удерживающего тела.

В криволинейном движении изменение направления скорости в сторону центра вращения вызвано действием другого тела. Возникает нормальное ускорение, направленное к центру вращения, — центростремительное ускорение. Оно вызвано действием силы того же направления — центростремительной силы. Источником этой силы служит другое тело, которое удерживает вращающееся тело на дуге окружности, ограничивает его движение, не дает ему продолжать инерционное движение по касательной к дуге окружности. Это удерживающее тело.

Таким удерживающим телом при обороте на перекладине служит сама перекладина. Центростремительной силой является опорная реакция перекладины. Она приложена к пальцам гимнаста, действует через них на все тело гимнаста в сторону перекладины, заставляя тело удерживаться на криволинейной траектории (рис. 57).

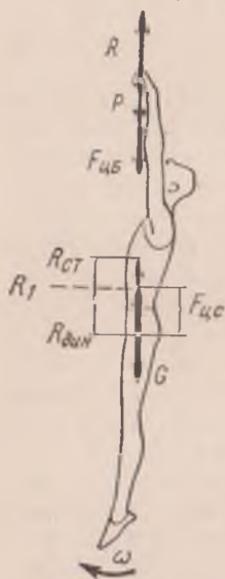


Рис. 57. Силы, приложенные во вращательном движении: реакция опоры R перенесена к ОЦТ и состоит из $R_{ст}$ (реакции на статический вес) и $R_{дин}$ (уравновешивающая сила)

Поскольку опорная реакция перекладины оказывает действие на тело гимнаста, само тело гимнаста оказывает противодействие в виде центробежной силы. Она направлена противоположно центростремительной силе, равна ей по величине и приложена к перекладине. Центробежная сила в данном случае реальная сила инерции (система отсчета инерциальная, тело отсчета — перекладина). Если же систему отсчета связать с ускоренно движущимся телом гимнаста (неинерциальная система отсчета), то сила инерции рассматривается как фиктивная (см. 23.2) и приложена к ОЦТ тела гимнаста. Как известно, систему отсчета можно выбирать в соответствии с рассматриваемой задачей, и оба способа описания одного и того же явления в принципе равноценны.

Величина центростремительного ускорения зависит от скорости и расстояния до оси вращения ($a_{цс} = \frac{v^2}{r}$). С увеличением скорости вращения и кривизны траектории центростремительное ускорение возрастает.

Центростремительная сила перпендикулярна направлению линейной скорости тела, поэтому изменить ее величину не может. Центростремительная сила изменяет только направление скорости. Для изменения величины скорости при вращении необходимо наличие поперечного или отрицательного тангенциального (касательного) ускорения. Его может вызвать только сила (или ее составляющая), перпендикулярная радиусу (параллельная касательной к траектории в данной точке).

Следовательно, при разборе движения вокруг оси учитывают силы (или их составляющие), приложенные вдоль радиуса и перпендикулярно ему, искривляющие траекторию и ускоряющие или замедляющие вращение.

34.2. Изменение вращательного движения

Под действием момента внешней силы изменяется вращательное движение как твердого тела, так и тела гимнаста (без изменения и с изменением позы).

Момент внешней силы, приложенной к твердому телу, вызывает его угловое ускорение, обратно пропорциональное моменту инерции тела относительно оси вращения:

$$M_0(F_e) = I\varepsilon,$$

где $M_0(F_e)$ — момент внешней силы, I — момент инерции, ε — угловое ускорение.

Импульс момента силы $S_0 = M_0(F_e)t$ вызывает соответствующее изменение угловой скорости (ω), а следовательно, и кинетического момента ($I\omega$):

$$S_0 = \Delta I\omega.$$

Когда гимнаст сохраняет позу (например, в висе на перекладине), учитель может, приложив внешнюю силу (толчком рукой) на ее плече (расстояние от точки приложения силы до перекладины), увеличить угловую скорость его тела. В этом случае тело гимнаста можно приравнять к твердому телу.

Если же гимнаст при упражнении изменяет позу, то определить угловую скорость его тела так, как это делается для твердого тела, невозможно. Угловая скорость твердого тела (ω) — это отношение линейной скорости (v) любой точки тела (кроме лежащих на оси) к ее расстоянию до оси (r). Для всех точек твердого тела это отношение одинаково. В случае же изменения позы линейные скорости разных точек изменяются по-разному и единого отношения ($\frac{v}{r}$), т. е. угловой скорости, не существует.

Чтобы все-таки учесть изменение вращательного движения, условно делят тело гимнаста на две равные по весу половины. Находят центры тяжести обеих половин тела и соединяют их прямой.

Эту линию можно считать продольной осью тела. Приняв ее за линию отсчета, определяют угол ее поворота, а следовательно, и угловую скорость тела как отражение быстроты изменения положения всего тела относительно оси вращения.

Итак, *момент внешней силы, приложенный к телу гимнаста, вызывает изменение вращательного движения.* Так, при свободных качаниях гимнаста в висе на перекладине при движении его вниз момент силы тяжести тела относительно оси перекладины *у с к о р я е т д в и ж е н и е* (рис. 58, а). Во время движения вверх момент силы тяжести *з а м е д л я е т д в и ж е н и е*, так как действует ему навстречу.

Если бы не было тормозящего действия силы трения рук о перекладину и сопротивления воздуха, качания продолжались бы без изменений. Действие тормозящих сил приводит к затухающим колебаниям.

Можно описать это явление с точки зрения превращения механической энергии тела гимнаста. Опускаясь из верхнего положения тела в нижнее, он *п р е в р а щ а е т* потенциальную энергию (энергию положения) в кинетическую энергию (энергию движения). По мере подъема вверх кинетическая энергия вновь превращается в потенциальную, но часть механической энергии затрачивается на работу против тормозящих сил и *р а с с е и в а е т с я*.

Подводя энергию в каждом колебании, можно сделать колебания *н е з а т у х а ю щ и м и*, более того, увеличить энергию по механизму *р е з о н а н с а* (подвод энергии больший, чем рассеяние). Одним из способов подвода энергии служит работа мышц по приближению звеньев тела к оси вращения, уменьшение радиуса вращения и радиуса инерции, а следовательно, и момента инерции тела гимнаста.

Представим себе вращательное движение тела гимнаста — *п е р е н о с н о е д в и ж е н и е* (см. 22.1). К нему прибавим движение вдоль радиуса в сторону оси — *о т н о с и т е л ь н о е д в и ж е н и е*. Тогда линейные скорости частей, приблизившихся к оси, станут меньше: они имеют *о т р и ц а т е л ь н о е у с к о р е н и е* (поворотное или кориолисово), т. е. ускорение, направленное против вращения. При этом ускорении приблизившихся частей тела возникают их *с и л ы и н е р ц и и К о р и о л ь с а*, направленные в этом случае по ходу вращательного движения (рис. 58, б). В неинерциальной системе отсчета (связанной с телом гимнаста, имеющим ускорение) они как фиктивные силы инерции приложены к самому ускоряющему телу, т. е. к приближающимся к оси частям тела гимнаста. Так *можно объяснить влияние радиального движения на вращательное движение посредством приложения момента силы инерции Кориолиса.*

Во всех разобранных случаях имелось действие внешней силы. Однако вращательное движение *с и с т е м ы т е л* можно изменить и без приложения внешней силы на основе *з а к о н а с о х р а*

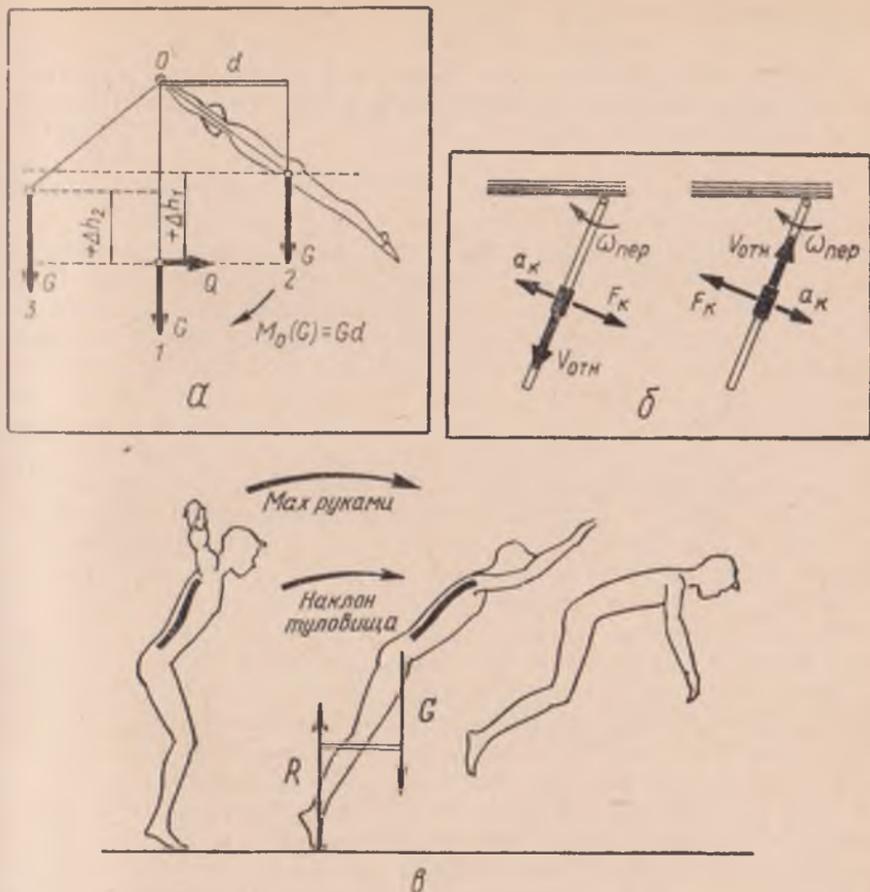


Рис. 58. Силы, изменяющие движение вокруг оси: а — сила тяжести (G) при движении вниз ускоряет тело гимнаста, при движении вверх — замедляет; б — сила инерции Кориолиса F_k при отдалении от оси замедляет, при приближении к ней ускоряет движение тела гимнаста; в — создание пары сил тяжести (G) и опорной реакции (R)

нения кинетического момента¹. В системе тел, приближая ее части к оси вращения, можно уменьшить радиус инерции, а значит, и момент инерции. Если в это время никакие внешние силы не изменяют кинетического момента ($I\omega$), то, во сколько раз уменьшится момент инерции (I), во столько же раз увеличится угловая скорость (ω).

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

¹ Закон сохранения кинетического момента гласит: если сумма моментов внешних сил, приложенных к телу, равна нулю, то кинетический момент тела сохраняется неизменным.

34.3. Управление движениями вокруг оси

Управление движениями вокруг оси можно осуществлять с изменением кинетического момента тела гимнаста и при его сохранении.

Для управления движениями гимнаста вокруг оси с изменением кинетического момента возможны следующие способы.

1. *Приложение момента внешней силы без изменения позы.* В этом случае тело гимнаста получает внешний толчок. Чтобы использовать меньшую силу, целесообразно увеличить ее плечо, а также время ее действия (или путь приложения силы). Такой внешней силой может быть сила тяжести, действие другого человека (см. рис. 58, а).

2. *Изменение действия внешней силы активным изменением позы.* Здесь гимнаст, изменяя напряжение мышц, приближает свое тело к оси вращения или отдаляет (например, от оси перекладины). Отдаление тела от перекладины при движении вниз увеличивает момент силы тяжести, но в еще большей степени увеличивается момент инерции, а угловая скорость даже уменьшается. Однако кинетический момент тела возрастает, что позволяет при движении вверх приближением звеньев тела к оси перекладины не только уменьшить тормозящий момент силы тяжести, но и приобрести большую угловую скорость за счет уменьшения момента инерции. Это приводит к более высокому подъему тела (см. рис. 58, б).

3. *Активное действие, создающее момент внешней силы.* Отталкиваясь от опоры, гимнаст вызывает опорную реакцию. Пару сил (G и R), а также мах руками и наклон туловища можно рассматривать как причину изменения вращательного движения (рис. 58, в). Таким способом в вольных упражнениях осуществляется отталкивание для выполнения сальто, переворота, подъема разгибом и др. Для управления движениями гимнаста вокруг оси на основе закона сохранения кинетического момента можно использовать уже имеющийся кинетический момент, а также выполнить вращательное упражнение без начального вращения, при отсутствии кинетического момента. Активная работа мышц без использования внешней силы предоставляет возможность применить еще и способы, указанные ниже.

4. *Группирование и разгруппирование тела при начальном вращении.* Когда у гимнаста при начальном вращении уже имеется кинетический момент, он, приближая части тела к оси вращения, укорачивая радиус инерции, уменьшает момент инерции и тем самым увеличивает угловую скорость. Этот способ управления особенно отчетливо проявляется при движениях без опоры. Удерживающим телом для одной половины тела служит другая половина: центробежная сила одной половины служит центростремительной для другой. Ось вращения при движениях без опоры всегда проходит через ОЦТ тела, который от изменения вращения тела вокруг

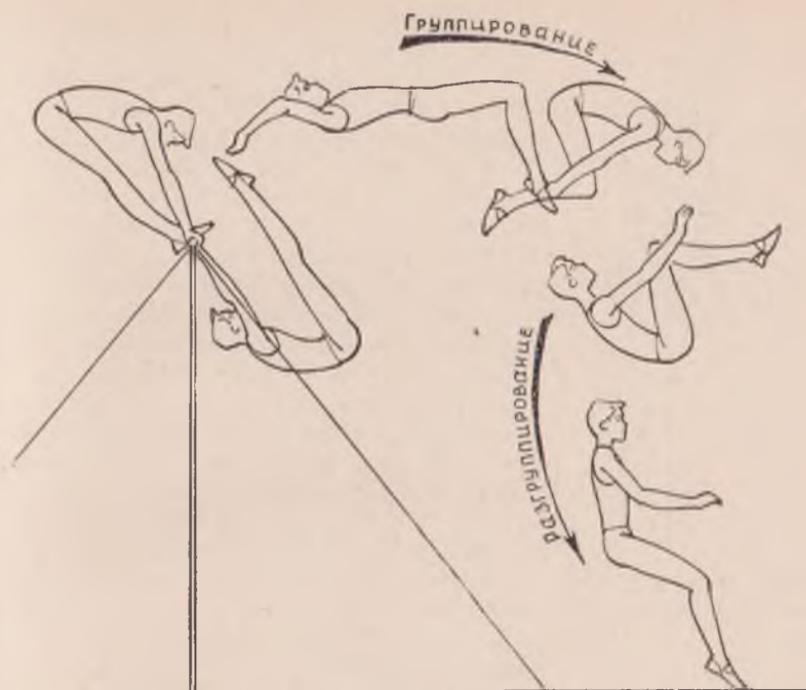


Рис. 59. Изменение движения вокруг оси группированием (убыстрение) и разгруппированием (замедление)

него своей траектории не изменяет. Разгруппирование, естественно, оказывает противоположное действие (рис. 59). Так убыстряют и замедляют вращение при выполнении сальто и многих других упражнений. Эти движения можно описать и с точки зрения сил Кориолиса, и с точки зрения подвода энергии работой мышц против центробежных сил.

5. *Кружение конечностей и изгибание туловища для изменения ориентации тела.* Круговые движения конечностями (руками, ногами) реактивно вызывают повороты отдельных частей тела в противоположном направлении. Кинетические моменты звеньев, вращающихся в противоположных направлениях, равны, и поэтому кинетический момент всего тела гимнаста не изменяется. Естественно, что движения звеньев с меньшим моментом инерции выполняются с большей скоростью (рис. 60). Эти движения конечностей сами по себе могут быть недостаточными для значительного изменения ориентации тела.

К ним добавляются (а иногда используются и без них) изгибания туловища. Эти движения выполняют в такой последовательности: принять начальное угловое положение (сгибание, разгибание или боковой наклон в поясничных позвонках), далее круговое

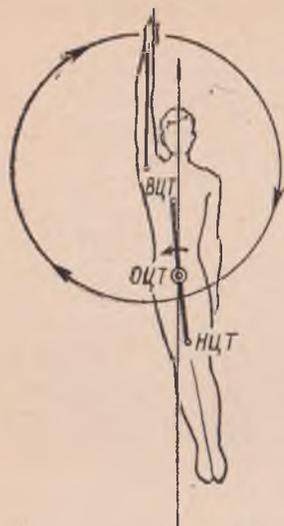


Рис. 60. Изменение движения вокруг оси движением руки (по М. С. Лукину)

движение в поясничном отделе позвоночника (когда край одного позвонка как бы «катится» по краю другого) и заключительное выпрямление позвоночника с прекращением кругового движения (рис. 61). Все эти движения, вызванные внутренними силами (согласно закону), не изменяют кинетического момента всего тела гимнаста. Кинетические моменты верхней и нижней половин тела, создаваемые работой мышц, по величине равны и имеют одинаковое направление. Поэтому происходит вращение тела в противоположном направлении с кинетическим моментом, по величине равным сумме моментов обеих половин тела и имеющим обратный знак. Так что тело гимнаста изменяет свою ориентацию. В качестве примера можно назвать соскок дугой углом с поворотом кругом. Однако это нельзя просто назвать вращательным движением, так как в подобном сложном действии сочетается ряд различных движений.

Выполняя различные движения вокруг оси, гимнаст часто пользуется не одним, а несколькими способами, их комбинацией, например: отталкиваясь от опоры, создает начальное вращение, ускоряет его группированием, переводит в сложное изменение ориентации изгибаниями туловища.

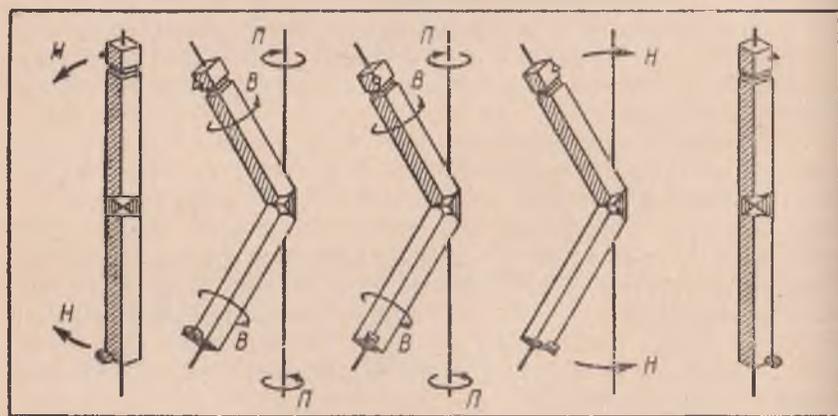


Рис. 61. Изменение движения вокруг оси изгибом туловища: *H* — встречные движения осей половин тела (нутация); *P* — круговые движения осей (прецессия); *V* — собственное вращение вокруг осей половин тела (по В. Т. Назарову)

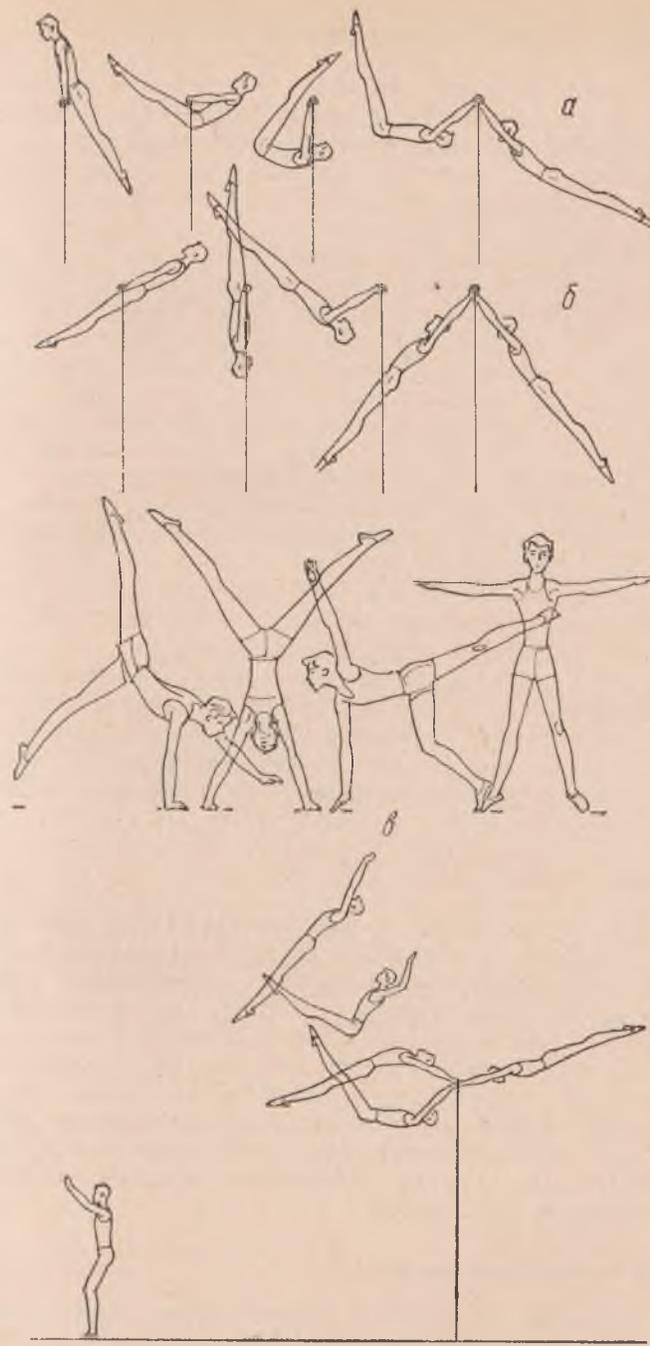


Рис. 62. Вращательные упражнения: *a, б* — на перекладине; *в* — на полу; *г* — без опоры

§ 35. Разбор вращательных упражнений

Вращательные упражнения гимнаст может выполнять на снарядах, на полу и без опоры. Во многих упражнениях необходимо использовать особенности исполнения во всех названных условиях.

35.1. Подъем разгибом (рис. 62, а)

Подъем разгибом на перекладине выполняется из положения виса в положение упора. В конце маха вперед гимнаст сгибается в тазобедренных суставах, приближая ноги к перекладине. В это время вследствие приближения тела к оси вращения уменьшается момент инерции и движение тела, происходившее под действием момента силы тяжести, становится быстрее.

Существует другой способ приближения тела к оси вращения — разгибанием рук в плечевых суставах (тело остается выпрямленным) (рис. 62, б). В результате этих движений гимнаст начинает подъем в упор в противоположную сторону со скоростью, достаточной для завершения упражнения в положении упора на перекладине или стойки на кистях.

При начальных движениях используется изменение радиуса вращения (радиальное движение), которое, вызывая силы Кориолиса, обеспечивает увеличение размаха движений.

Во втором варианте подъема разгибом (без управляющих движений в тазобедренных суставах) основная работа приходится на долю мышц плечевых суставов. Внешней силой, изменяющей траекторию ОЦТ тела гимнаста, служит опорная реакция перекладины, создаваемая нажимом рук на нее, при напряжении мышц плечевых суставов.

35.2. Переворот боком

Переворот боком (рис. 62, в) выполняется на полу с поочередной сменой опоры с ног на одну и другую руку и снова последовательно на обе ноги. Упражнение начинается с энергичного движения руками и туловищем в сторону переворота отталкиванием одной ногой и махом другой. Создается начальное движение в заданную сторону. К моменту опоры на обе руки в положении ноги врозь тормозится движение ноги, начавшей движение, и ее кинетический момент передается туловищу, продолжающему движение в ту же сторону. Посменно ноги и руки совершают разгон в сторону переворота, а затем при их торможении передают кинетический момент остальным частям тела.

35.3. Соскок махом вперед (рис. 62, г)

Это упражнение выполняется на махе вперед средней величины. В момент прохождения нижнего вертикального положения гимнаст делает резкое движение ногами, сгибая их в тазобедрен-

ных суставах, и одновременно разгибает руки в плечевых суставах. Вслед за этим гимнаст, не доходя до верхней точки маха, делает противоположные движения в тазобедренных и плечевых суставах. При этом он с силой нажимает на гриф перекладины руками, придавая телу вращение вперед. Тем самым к моменту отпускания грифа создается вращательное движение тела вперед. Это движение убыстряется сгибанием ног в тазобедренных суставах (группирование). При сохранении кинетического момента тела уменьшение момента инерции увеличивает угловую скорость. Далее, когда осуществлен достаточный поворот, гимнаст снова разгибается в тазобедренных суставах, чем замедляет движение тела вокруг поперечной оси.

Если мах вперед на перекладине был не очень быстрым, то сгибание тела гимнаста для ускорения вращения вперед может быть менее энергичным.

* *
*
*
*

Биодинамика гимнастических упражнений, естественно, не исчерпывается сохранением положения тела и вращательными упражнениями. С точки зрения биомеханики большое значение имеют механизмы отталкивания от опоры (см. гл. VI), в которых широко используется упругая деформация мышц. Явление у п р у г о й о т д а ч и (см. гл. II) представлено в гимнастике очень разнообразно при переходе от подготовительных к основным фазам упражнений в смене направления движения.

Гимнастика как комплекс физических упражнений *первой группы* со стабилизацией кинематической структуры (см. 58.2) приучает к точному управлению движениями своего тела в соответствии с кинематическим заданием (форма и характер движений). При широком применении фиксации звеньев тела в суставах значительная часть движений происходит по инерции, под действием внешних сил. Это требует точного приложения у п р а в л я ю щ и х с и л на основе тонкого контроля над движениями. В значительной мере эти особенности гимнастики определяют ее ведущую роль в школьных программах по физкультуре.

Легкоатлетические перемещения основаны на отталкивании ногами от опоры. Механизм взаимодействия тела человека с опорой используется во всех наземных перемещениях в легкой атлетике. Биодинамика движений отталкивания и шагательных движений, составляющих основу легкоатлетических перемещений, занимает существенное место почти во всех видах спорта. В настоящей главе рассматривается биодинамика прыжка, ходьбы и бега.

МЕХАНИЗМ ОТТАЛКИВАНИЯ ОТ ОПОРЫ

Отталкивание от опоры выполняется посредством собственно отталкивания ногами от опоры и маховых движений свободными конечностями. Эти движения тесно взаимосвязаны в едином действии отталкивания. От их согласования в значительной мере зависит совершенство отталкивания.

§ 36. Взаимодействие тела легкоатлета с опорой

36.1. Взаимодействие подвижных и опорных звеньев при отталкивании

При отталкивании опорные звенья неподвижны относительно опоры, а подвижные звенья под действием силы мышц перемещаются в общем направлении отталкивания.

Во время отталкивания легкоатлета от опоры стопа зафиксирована на опоре неподвижно. Шипы туфель, погружаясь в покрытие (дорожки, сектора) или брусок (прыжки в длину), обеспечивают надежное соединение с опорой. На стопу как на опорное звено со стороны голени действует давление ускоряемых звеньев тела. Оно направлено назад и вниз. Это давление через стопу передается на опору. Противодействием давлению на стопу служит опорная реакция (рис. 63). Она приложена к стопе в направлении вперед и вверх. Опорная реакция и давление голени на стопу приложены к стопе в противоположных направлениях, взаимно уравновешиваются (без учета веса стопы) и фиксируют стопу на опоре.

Опорная реакция уравновешивает при отталкивании стопу и этим фиксирует ее на опоре.

Силы мышечных тяг толковой ноги выпрямляют ее. Поскольку стопа фиксирована на опоре, бедро передает ускоряющее воздействие отталкивания через таз остальным звеньям тела легкоатлета. При ускоренном движении подвижных звеньев на них действуют тормозящие силы (тяжести, инерции, сопротивления антагонистов). Следовательно, звенья тела получают ускорение вследствие того, что имеются движущие силы, действие которых превышает сопротивление тормозящих сил.

Силы мышечных тяг, действуя в качестве движущих сил или преодолевая сопротивление тормозящих сил, обуславливают ускоренное движение подвижных звеньев тела легкоатлета.

В соответствии с законом сохранения движения центра масс системы¹, для того чтобы он изменил движение, необходимо наличие внешней силы, приложенной к системе. Опорная реакция при отталкивании как раз и является такой необходимой внешней силой.

36.2. Работа движущих сил и изменение кинетической энергии при отталкивании

Силы мышечных тяг, приложенные к подвижным звеньям, являются источниками механической работы, которая увеличивает кинетическую энергию тела легкоатлета при отталкивании.

Нередко полагают, что движущей силой и источником работы, увеличивающей кинетическую энергию, может быть только внешняя сила. Это справедливо только для изменения движений абсолютно

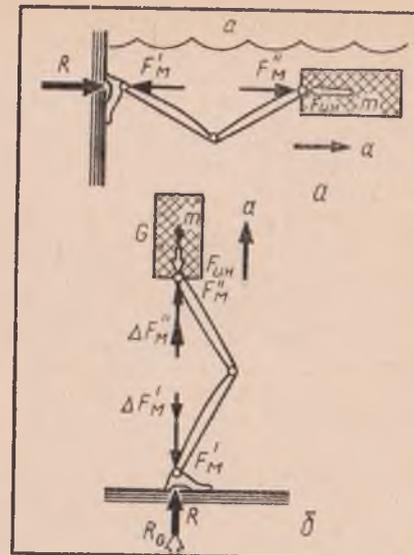


Рис. 63. Силы, приложенные при отталкивании: а — горизонтально без действия силы тяжести (G); б — вертикально; F_M^1 — давление голени на стопу, F_M^2 — давление бедра на таз, R — реакция опоры (на силу F_M^1 , приложенную к стопе); ΔF_M^1 — давление, обусловленное весом тела; ΔF_M^2 — давление, уравнивающее силу тяжести; $F_{ин}$ — сила инерции; R_g — реакция опоры (на вес тела)

¹ Закон сохранения движения центра масс системы гласит: если главный вектор внешних сил, приложенных к системе тел, равен нулю, то движение центра масс системы сохраняется неизменным.

твердых (неизменяемых) тел. С точки зрения механики тело легкоатлета — 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 звеньев обусловлены соответствующими внешними для них силами, т. е. тягой мышц.

Для всей системы (тело легкоатлета) имеется необходимая внешняя сила. Это опорная реакция. Однако из этого не вытекает, что она служит движущей силой, источником работы, что она благодаря увеличению скорости тела легкоатлета повышает его кинетическую энергию. Ответ на этот вопрос дает закон сохранения кинетической энергии системы¹. Изменение кинетической энергии системы равно сумме работ внешних и внутренних сил. В случае, когда работа внешних сил равна нулю, кинетическую энергию изменяет работа только внутренних сил. Следовательно, работа мышц может изменить кинетическую энергию тела человека. Работа же опорной реакции равна нулю. Это очевидно, если учесть, что место приложения опорной реакции (опорная стопа) при отталкивании не отрывается от опоры и путь ее равен нулю. Следовательно, работа опорной реакции также равна нулю. Ни опорная реакция, ни ее составляющая сила трения (на гладкой поверхности) сами по себе движения вызвать не могут, движущими силами не служат. Они могут лишь изменять движение.

36.3. Измерение угла отталкивания

Угол отталкивания как угол наклона динамической составляющей опорной реакции характеризует общее направление отталкивания в каждый данный момент времени.

Если бы существовала внешняя движущая сила при отталкивании, то угол ее наклона к горизонту следовало бы считать углом отталкивания. Однако в самодвижущейся системе к каждому звену приложены силы, которые в совокупности и определяют движения каждого звена. Заменить всю сложнейшую систему множества сил равнодействующей движущей силой в этом случае невозможно. Одной эквивалентной (равноценной) равнодействующей силы (приложенной к одной точке), которая могла бы вызвать сложное движение многих звеньев в разных направлениях, быть не может. Именно поэтому имеются различные предложения по определению угла отталкивания (рис. 64).

Угол наклона продольной оси толчковой ноги до некоторой степени характеризует направление отталкивания. Однако при одинаковой позе толчковой ноги (благодаря различным напряжениям групп мышц) можно действовать

¹ Закон сохранения кинетической энергии системы гласит: если сумма работ всех внешних и внутренних сил, приложенных к системе, равна нулю, то кинетическая энергия системы сохраняется неизменной.

на опору больше вниз или больше назад. Иначе говоря, поза не может определять однозначно направления отталкивания. Следует добавить, что предложение измерять таким способом угол отталкивания в момент отрыва толчковой ноги от опоры лишено всякого смысла. В момент отрыва сила отталкивания (давление на опору) равна нулю.

Угол наклона линии, соединяющей место опоры с ОЦТ, не может точно характеризовать направление отталкивания, так как закона, согласно которому линия действия силы реакции опоры должна проходить через ОЦТ, не существует. Более того, практически не удается выполнить отталкивание так, чтобы опорная реакция была направлена точно к ОЦТ. Всегда регистрируются некоторые отклонения от этого направления.

Угол наклона общей опорной реакции можно измерять с помощью тензометрических устройств (платформа, стельки в обуви). Направление общей опорной реакции действительно практически никогда не проходит через ОЦТ. Однако общая опорная реакция есть противодействие давлению на опору, которое складывается из веса тела и сил инерции звеньев, движущихся с ускорением. Следовательно, для определения реакции на отталкивание, вызванной ускорением тела, из общей опорной реакции нужно вычесть ее статическую составляющую (реакцию на вес тела).

Угол наклона реакции на отталкивание действительно более правильно характеризует направление отталкивания. Можно представить себе следующее: в результате всех движений отталкивания ОЦТ тела легкоатлета получает определенное ускорение. Если предположить, что масса всего тела сосредоточена в ОЦТ, то по массе и ускорению можно подсчитать условную эквивалентную «ускоряющую» силу. Она примерно равна опорной реакции отталкивания и направлена параллельно ей. Следует только учесть, что, во-первых, реакция отталкивания, не проходя через ОЦТ, обуславливает стартовый (опрокидывающий назад) момент, а это не учитывается при расчете «ускоряющей» силы. Во-вторых, неизвестная работа сил затрачивается на неучитываемые деформации, поэтому реакция отталкивания и «ускоряющая» сила по величине будут отличаться друг от друга. В-третьих, в действительности реакция отталкивания — это не сила отталкивания

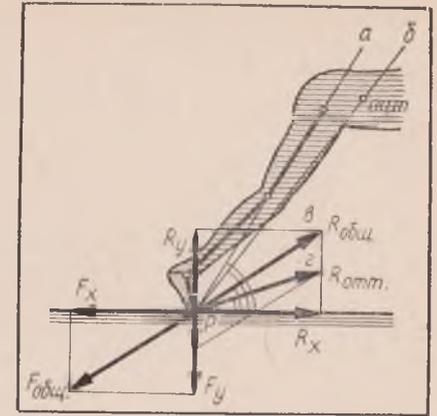


Рис. 64. Измерение угла отталкивания: *a* — по оси ног; *b* — по ОЦТ; *в* — по направлению общей реакции опоры; *z* — по направлению реакции силы отталкивания

(так как она не движущая), а уравновешивающая сила, не совершающая никакой работы.

В течение отталкивания изменяются направления ускорения ОЦТ, давления на опору и реакции отталкивания, поэтому угол отталкивания непрерывно изменяется. Следовательно, невозможно определить одним числом, например, «угол отталкивания при беге». Это переменная величина, да и сила отталкивания изменяется от нуля до максимума, а затем снова до нуля.

Таким образом, столь, казалось бы, простое понятие, как угол отталкивания, при внимательном анализе оказывается очень непростым, так как отражает действительную сложность отталкивания от опоры. Наиболее правильно угол отталкивания можно определить по измеренной динамографически реакции отталкивания (за вычетом веса тела), обусловив, в какой момент сделано измерение (максимум всей реакции, либо ее горизонтальной, либо ее вертикальной составляющих).

§ 37. Роль маховых движений

37.1. Общая эффективность маховых движений

Маховые движения при отталкивании — это быстрые движения свободных звеньев тела, одинаковые в основном по направлению с отталкиванием ногой от опоры.

В ходе маховых движений происходит перемещение центров тяжести звеньев тела. Это означает, что одновременно происходит перемещение и ОЦТ тела легкоатлета. Так, при прыжках в высоту в результате маховых движений руками и свободной ногой ОЦТ к моменту отрыва поднимается выше, чем без маховых движений. Если ускорение звеньев тела, выполняющих маховые движения, больше, то и ускорение ОЦТ увеличивается. Следовательно, маховые движения изменяют положение ОЦТ к концу отталкивания и обуславливают увеличение его ускорения.

Таким образом, маховые движения (так же как и отталкивание ногой) осуществляют перемещение и ускорение ОЦТ. Следовательно, маховые движения, отдаляющие звенья тела от опоры в направлении отталкивания, можно также считать составной частью отталкивания.

37.2. Фазы маховых движений

В маховых движениях в фазе разгона скорость звеньев увеличивается до максимума и в фазе торможения уменьшается до нуля.

В фазе разгона с нарастанием скорости маховых звеньев нарастает и скорость ОЦТ тела легкоатлета. Следовательно, чем выше скорость маховых звеньев, тем она больше сказывается на скорости ОЦТ.

В ф а з е т о р м о ж е н и я мышцы-антагонисты, растягиваясь, напрягаются и этим замедляют движения маховых звеньев, совершая отрицательную работу (в уступающем режиме). Дело в том, что мышечные силы (как внутренние для тела легкоатлета) в отсутствие внешней силы, зависящей от них, не могут изменить количества движения всего тела (mv) и его кинетического момента ($I\omega$). Мышечные тяги здесь только перераспределяют скорости звеньев тела, движение внутри системы передается от одних звеньев к другим. При таком перераспределении скоростей движение ОЦТ тела легкоатлета не изменяется. Следовательно, скорость, достигнутая в фазе разгона, от торможения маховых звеньев не изменится. Именно поэтому для достижения более высокой скорости ОЦТ нужно стараться продлить фазу разгона на большей части пути махового перемещения.

Имея в виду этот же принцип, приходим к выводу, что при разгоне маховых звеньев во время отталкивания они не «отнимают» движения от опорных и подвижных звеньев толчковой ноги. Поскольку имеется опора, движение «отнимается» не только от звеньев ноги, но и от опоры (всей Земли!). Тем не менее движения маховых звеньев влияют на механизм отталкивания ногой. Когда ускорения маховых звеньев направлены от опоры, возникают силы инерции этих звеньев, направленные к опоре. Силы инерции совместно с весом тела нагружают мышцы опорной ноги и увеличивают их напряжение. Дополнительная нагрузка замедляет сокращение мышц и увеличивает их напряжение, в результате чего напряжение мышц толчковой ноги увеличивается и они сокращаются дольше. В связи с этим увеличивается и импульс силы, равный произведению силы на время ее действия. Большой импульс силы дает больший прирост количества движения, т. е. больше увеличивает скорость.

Импульс переменной силы отталкивания равен площади между графиком силы по времени и горизонтальной линией, проведенной на уровне веса тела легкоатлета. Казалось бы, можно увеличить эту площадь, удлиняя время отталкивания. Однако искусственное замедление отталкивания уменьшит ускорения, силы инерции и напряжение мышц. При медленном отталкивании будет и медленнее движение ОЦТ тела легкоатлета. Только естественное удлинение отталкивания ногой (благодаря ускоренным маховым движениям) увеличит и время отталкивания, и импульс силы, и ускорение ОЦТ.

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

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

37.3. Использование упругой биопотенциальной энергии

Упругая энергия мышц, растягиваемых перед отталкиванием при подседании (амортизации), обуславливает большую силу последующего отталкивания.

При упругой деформации мышц, их растягивании приложенными силами кинетическая энергия заторможенных звеньев переходит в потенциальную энергию упругодеформированных мышц. Если кинетическая энергия больше, то больше и упругая энергия. При большей скорости бега за время амортизации будет поглощена большая кинетическая энергия. В медленном беге она меньше, поэтому при амортизации накопится меньшая упругая энергия.

При одном и том же количестве превращаемой кинетической энергии не безразлична глубина подседания при амортизации. Амортизация разной глубины означает разный путь действия тормозящих упругих сил: с увеличением пути силы будут меньше. Следовательно, слишком глубокая и длительная амортизация не способствует значительному увеличению напряжения растягиваемых мышц. Вот почему в быстром беге наблюдается более короткая (по пути и времени) амортизация, приводящая к более значительному упругому напряжению мышц к моменту начала отталкивания.

Характер амортизации (ее глубина и быстрота) зависит от превращаемой кинетической энергии опускания тела. В свою очередь, от характера амортизации зависят силы упругой деформации мышц. Упругая биопотенциальная энергия лучше используется в быстрых движениях.

ШАГАТЕЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ

Шагательные движения характеризуются попеременной активностью ног, чередованием отталкивания и переноса каждой ноги. Эти движения отличаются строгой слаженностью и соответствием строению тела. Они формировались в процессе эволюции человека вместе с формированием его двигательного аппарата, поэтому совершенствование техники шагательных движений в легкоатлетических упражнениях должно идти по пути использования и расширения двигательных возможностей, заложенных в форме и функции тела человека.

§ 38. Элементы шагательных движений

В шагательных движениях каждая нога поочередно бывает опорной и переносной. В опорном периоде имеются фазы амортизации и отталкивания, в переносном — разгона и торможения.

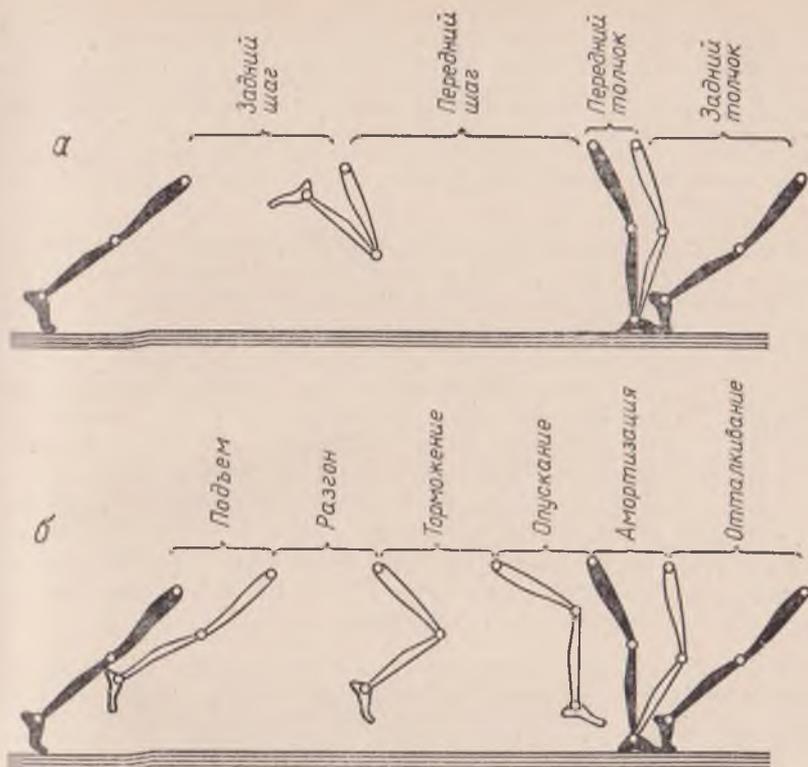


Рис. 65. Фазы шагательных движений в беге: а — по кинематическим данным (позам); б — по динамическим данным (усилиям)

38.1. Фазы шагательных движений

Основа шагательных движений — фаза отталкивания — неразрывно связана с подготовкой к ней — с фазой амортизации. Вместе они составляют период опоры, когда нога имеет контакт с опорой и находится под действием веса и силы инерции тела (рис. 65).

Фаза амортизации начинается с постановки ноги на опору. Амортизация заключается в торможении движения тела по направлению к опоре. Происходит уступающее движение, мышцы растягиваются, совершая отрицательную работу, и уменьшают скорость движения тела. К концу амортизации вертикальная составляющая скорости тела падает до нуля, опускание вниз прекращается. Горизонтальная же составляющая скорости за это время уменьшается, но не до нуля, тело не останавливается, а продолжает движение вперед. Фаза амортизации заканчивается в момент прекращения движения тела вниз.

Наиболее точно этот момент можно было бы установить по движению ОЦТ тела легкоатлета. Существующие методы определения положения ОЦТ громоздки и не совсем точны. Определение момента окончания амортизации возможно по динамограмме давления на опору: в этот момент вертикальная составляющая скорости равна нулю, ускорение и давление максимальны. Однако динамография требует сложной аппаратуры. Следует иметь также в виду, что в медленных движениях произвольное напряжение мышц может затемнить картину амортизации (резкое напряжение мышц сразу вслед за вялой амортизацией).

Окончанием фазы амортизации условно считают наибольшее сгибание опорной ноги в коленном суставе. Условность здесь вызвана тем, что амортизация выполняется не только движением в коленном суставе, имеют место движения звеньев вниз и в других суставах. Амортизационное разгибание (тыльное) в голеностопном суставе обычно заканчивается несколько позже амортизации в коленном.

Фаза отталкивания начинается с разгибания опорной ноги в коленном суставе. К этому движению отталкивания несколько позже присоединяется подошвенное сгибание стопы в голеностопном суставе. В это время все еще продолжается уступающее разгибание в плюснофаланговых суставах стопы, которое перед отрывом стопы от опоры сменяется преодолевающим подошвенным сгибанием.

Однако условность начала фазы отталкивания определяется движением разгибания бедра опорной ноги в тазобедренном суставе, которое может начаться в момент опоры. Это движение создает так называемый «активный перекат», подтягивание тела вперед к стопе, имеющей опору еще впереди него. Величина этой тяги относительно мала, но все же уменьшает тормозящее воздействие опоры (меньше потеря горизонтальной скорости тела).

Окончанием фазы отталкивания считают момент отрыва стопы от опоры. Однако, судя по динамограммам, силовое взаимодействие стопы с опорой прекращается несколько раньше, чем теряется контакт с опорой (по данным внешнего наблюдения).

В течение периода опоры в фазе амортизации горизонтальная скорость уменьшается, в фазе отталкивания — увеличивается. Если потеря скорости и ее восстановление одинаковы, то средняя скорость передвижения остается постоянной. Преобладание потери или восстановления скорости приводит к замедлению или ускорению передвижения. После опорного периода ноги наступает период ее переноса.

Ранее, исходя из взгляда на перенос ноги как на движение маятника, и этот период сначала включали фазу заднего шага, т. е. движение от момента отрыва стопы от опоры до момента вертикали (центр тяжести ноги в вертикальной плоскости, проходящей через ее тазобедренный сустав). Далее стали учитывать, что нога движется вперед сначала ускоренно, а затем замедленно, и стали выделять фазы разгона и торможения. Но после отрыва от опоры нога поднимается сзади над опорой, отставая от таза; после же торможения, выноса вперед опускается вниз и назад (относительно таза) на опору. В связи с этим теперь, кроме фаз разгона и торможения, фиксируют еще фазы подъема и опускания ноги.

Фаза подъема ноги начинается с момента ее отрыва от опоры и заканчивается началом ее движения вперед (относительно таза). Границей между этими двумя движениями можно считать наибольший угол наклона бедра относительно вертикали. Поднимание ноги сзади происходит вследствие разности скоростей таза, которому толчковая нога сообщила движение вперед, и нижней части толчковой ноги, которая, отталкивая остальные части тела, имеет малую скорость относительно опоры. Происходит перераспределение скоростей, при котором нога сначала отстает от таза и поднимается за ним вверх.

Фаза разгона ноги начинается со сгибания бедра в тазобедренном суставе и заканчивается в момент наибольшей скорости ЦТ переносной ноги. Происходит разгон махового движения со всеми его особенностями, упомянутыми выше.

Фаза торможения ноги начинается в момент наибольшей скорости ее центра тяжести и заканчивается в крайнем положении бедра впереди и вверху. Это фаза торможения махового движения со всеми его особенностями.

Фаза опускания ноги на опору начинается с момента крайнего положения бедра впереди и вверху и заканчивается в момент постановки стопы на опору.

III.2. Сопутствующие движения туловища

В циклических перемещениях движениям ног соответствуют маховые движения рук, согласованные перекрестной координацией всех четырех конечностей. Вблизи крайних положений рук и ног в передне-заднем направлении мышцы-антагонисты, растягиваясь и напрягаясь, тормозят движения. Кинетическая энергия звеньев превращается в потенциальную упругую энергию мышц. Упругие силы, остановив движения в одном направлении, помогают начать их в обратном направлении (упругая отдача). В быстрых движениях динамика упругой отдачи выражена значительно, чем в медленных.

В зависимости от способа шагательного перемещения и темпа шагов в большей или меньшей степени осуществляются движения туловища и таза относительно всех трех осей (наклоны вперед и назад, в боковых направлениях, поворот вокруг вертикальной оси). Движения туловища и таза относительно пояса верхней конечности динамически связаны с движениями ног и рук.

Наклон таза вперед и туловища назад приходится на завершающую часть отталкивания ногой. Возвратные движения осуществляются между двумя отталкиваниями ногами. Опускание таза и туловища в сторону маховой ноги происходит во время опоры к концу амортизации. Возвратное движение относится к завершению отталкивания.

Наконец, повороты таза вокруг вертикальной оси тазобедренного сустава опорной ноги увеличивают длину шага (кинематический фактор).

Особенно важен динамический фактор — усиление отталкивания вследствие более полного использования энергии упругой деформации мышц. Поворот таза на опорной ноге к концу отталкивания играет роль махового движения, своего рода броска всего тела (кроме звеньев толчковой ноги) в направлении отталкивания. Мышцы тазобедренных суставов в крайних точках движения работают в режиме упругой отдачи при большом их напряжении и относительно медленном сокращении. Если верхняя половина туловища не поворачивается в ту же сторону вместе с тазом, а продолжает продвижение вперед, не изменяя ориентировки в пространстве, то в это движение попеременно включаются мышцы спины и живота. Они обуславливают скручивание позвоночника в поясничном отделе, усиливающее движение таза.

Этот механизм, сформировавшийся у человека в процессе эволюции, используется в последнее время только в спортивной ходьбе. В обычной ходьбе и в беге он не применяется. Восстановление этого механизма в спортивной практике предоставит возможность мобилизации неиспользованных природных резервов.

§ 39. Скорость, длина, частота и ритм шагов

Скорость шагательных движений численно равна произведению длины шагов на их частоту. Закономерности использования этих компонентов скорости для ее повышения зависят от перестройки ритма шагательных движений.

Для увеличения скорости шагательных движений нужно увеличить их длину и частоту. Так и бывает в некоторых пределах, например при переходе к более быстрой ходьбе. Однако длинный шаг требует большего времени, длительность его больше, значит, частота шагов (темп бега) снижается. Значительное удлинение шагов может резко снизить темп, скорость перестанет возрастать и может даже снизиться. То же самое происходит при изменении темпа: слишком высокий темп может привести к укорочению шагов и снижению скорости.

Во всех случаях изменения длины и частоты шагов изменяются усилия, приложенные к звеньям тела. Следствием этого будет изменение ритма (как соотношения длительности движений). Происходит качественная перестройка системы движений, управления ее структурой. Так, ритмические соотношения времени амортизации и отталкивания изменяются в зависимости от длины дистанции и средней скорости бега. Изменяются также соотношения длительности периода опоры и периода полета.

Улучшая использование упругой отдачи в периоде полета в крайних точках движения ног вперед и назад, ускоряя «сведение бедер» в беге, можно существенно повысить темп бега. Можно эффективно удлинять шаги, используя упругую отдачу в крайних точках поворота таза и в момент смены амортизации отталкиванием.

Таким образом, изменяя величину и длительность усилий, перестраивают ритм шагательных движений: изменяется длина, частота шагов и скорость передвижения.

В зависимости от двигательной задачи строится система движений. Так, техника спортивной ходьбы предусматривает непрерывный контакт легкоатлета с опорой. При этом существенно изменяются (по сравнению с обычной ходьбой) и граничные позы, и сам механизм амортизации и отталкивания. Если ставится задача достигнуть оптимальной для данной дистанции средней скорости (что позволит показать лучшее возможное время), то перестраивается ритм движений: усилия изменяются таким образом, что длина и частота шагов позволят достигнуть требуемой скорости наиболее экономичным способом.

С изменением условий выполнения двигательного задания (например, бег по песку, по асфальту, в подъем и т. п.) происходит приспособление к ним, дающее наибольшую экономичность, т. е. наименьший расход энергии при заданном результате, либо наибольший результат при заданной затрате энергии. *Изменение двигательной задачи и изменение условий ее выполнения требуют качественной перестройки всей системы движений.*

40. Разбор легкоатлетических перемещений

40.1. Прыжок в длину с разбега [рис. 66]

Задача прыжка в длину с разбега: после разгона (увеличения скорости) оттолкнуться от бруска и преодолеть в полете до места приземления возможно большее расстояние. В прыжке в длину различают периоды разбега, отталкивания, полета и амортизацию после приземления.

В разбеге скорость бега нарастает только до тех пор, пока в каждом шаге действие тормозящих сил меньше действия движущих. По мере увеличения скорости они становятся все более близкими по эффекту. Наступает момент, когда скорость больше не

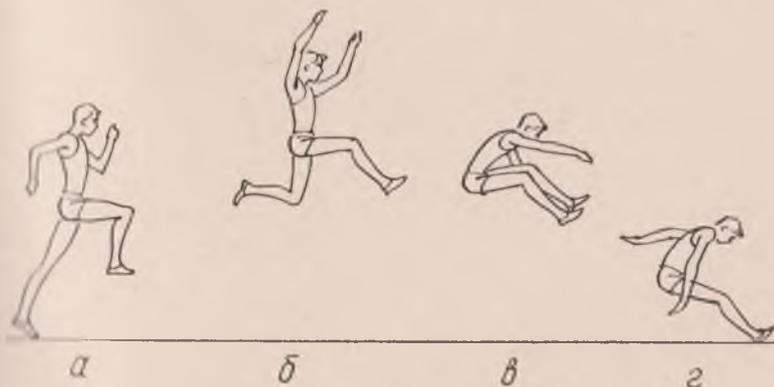


Рис. 66. Прыжок в длину с разбега способом «согнуть ноги»: а — отрыв от опоры; б, в — подготовка к приземлению; г — приземление

возрастает и более длинный разбег, отнимая энергию, уже не прибавляет скорости. Поэтому длина разбега у высококвалифицированных легкоатлетов-мужчин составляет 40—45 м, у женщин — 30—35 м, а количество беговых шагов соответственно 20—24 и 18—20. Последние 4—2 шага разбега направлены на подготовку к отталкиванию путем удлинения шагов (что снижает ОЦТ тела), усиления отталкивания будущей толчковой ногой и укорочения последнего шага (уменьшение торможения при постановке ноги на брус).

Период отталкивания включает фазу амортизации, когда за несколько сотых долей секунды, сгибая ногу в коленном суставе, легкоатлет прекращает движение тела вниз, и фазу выпрямления ноги. В течение амортизации горизонтальная скорость ОЦТ уменьшается на 1—1,5 м/сек. Так как нога ставится на брусок почти полностью выпрямленной, таз при перекате через толчковую ногу должен подниматься, а вследствие сгибания ноги в колене — опускаться. Первая тенденция (при хорошей технике) преобладает и дает увеличение вертикальной скорости, особенно при выпрямлении ноги в коленном и голеностопном суставах. В результате сложения скорости разбега (до 10 м/сек) и вертикального отталкивания (до 3 м/сек) с учетом потери горизонтальной скорости и ее наращивания за время отталкивания вектор скорости ОЦТ тела в момент отрыва от опоры наклонен к горизонту под углом 18—23°. Маховые движения руками и свободной ногой во время отталкивания поднимают ОЦТ тела и придают ему ускорение в направлении маха.

В периоде полета легкоатлет делает движения, способствующие (при такой же траектории ОЦТ его тела) более далекому приземлению. Наиболее простой способ прыжка — «согнув ноги»: после отталкивания присоединяют к вынесенной вперед маховой ноге бывшую толчковую. В способах «прогнувшись» и «ножницы» добавляются движения ног в полете, направленные на сохранение необходимого положения туловища и подготовку к приземлению.

Во всех способах прыжка в длину перед приземлением спортсмены стремятся поднять выше вытянутые вперед ноги, а руки (или одну руку) отвести вниз-назад. В зависимости от способа прыжка период полета можно разделить на ряд фаз.

В момент приземления (касания грунта) начинается амортизация и вслед за ней выход вперед из позы приземления. Тело легкоатлета по инерции продолжает движение вперед и совершает перекат над местом опоры. Энергичные движения руками вперед с последующим разгибанием ног в коленных суставах помогают выходу вперед от места приземления.

40.2. Спортивная ходьба (рис. 67)

Спортивная ходьба представляет собой уточненные правилами способ передвижения, имеющий существенные отличия от обыкновенной ходьбы. Механизм отталкивания в спортивной ходьбе от-

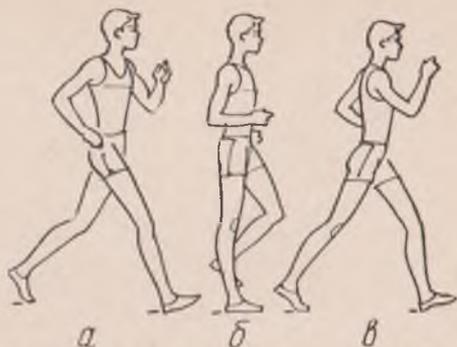


Рис. 67. Спортивная ходьба: а, в — двухопорные положения; б — одноопорное положение

личается тем, что опорная нога не должна сгибаться в коленном суставе. Следовательно, первая фаза опорного периода — амортизация — осуществляется за счет движений в других суставах. Во-первых, это уступающая работа тыльных разгибателей стопы после постановки ноги на пятку. Во-вторых, это уступающая работа отводящих мышц тазобедренных суставов, при которой таз и все остальные части тела (кроме опорной ноги) замедленно опускаются вниз, смягчая взаимодействие с опорой.

Так как коленный сустав лишен возможности разгибаться в фазе отталкивания, основная работа по ускорению продвижения вперед переносится на разгибатели тазобедренного сустава толчковой ноги. Кроме того, имеет место очень характерное и сильное движение — поворот таза вперед в тазобедренном суставе опорной ноги. В этом движении имеется не только кинематический выигрыш (удлинение шага), но и динамический. Увеличение усилий при включении дополнительных мышц и обеспечивает более значительные ускорения в переносе ноги и продвижении вперед. Это приводит к повышению темпа шагов (увеличение частоты).

При поворотах таза растягиваются мышцы-ротаторы бедра, его сгибатели и разгибатели, а также мышцы туловища. В режиме колебательных движений проявляется упругая отдача (см. гл. II). Именно в этих движениях проявляются эволюционные приспособления опорно-двигательного аппарата человека к шагательным движениям. Движения отталкивания ногой завершаются энергичным подошвенным сгибанием стопы.

Движения свободной ноги в спортивной ходьбе отличаются от обыкновенной тем, что перед приземлением нога до отказа выпрямляется и всегда приземляется на пятку.

В результате большей длины (105—120 см против 80—90 см в обычной ходьбе) и частоты (180—200 шагов в минуту против соответственно 110—120) шагов скорость спортивной ходьбы в 2—2,5 раза больше, чем обычной. Руки совершают уравновешивающие движения с большим размахом, сопровождая повороты верхней части туловища навстречу поворотам таза.

III. Бег [рис. 68]

Техника бега отличается от техники ходьбы иным соотношением периодов опоры и переноса ноги. Время опоры значительно сокращено, поэтому от опоры одной ногой до опоры другой клини-

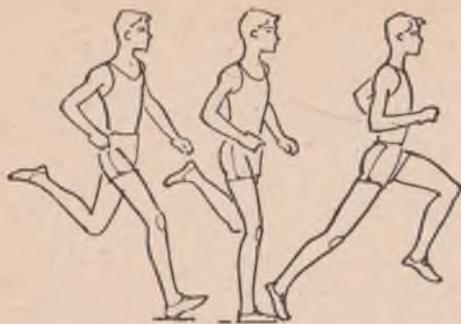


Рис. 68. Бег: а — начало опоры; б — амортизация; в — отрыв от опоры

вается период полета. В ходьбе же после одиночной опоры наступает двойная опора.

Фазы движений ног в беге типичны для шагательных движений. В опорном периоде сначала идет фаза амортизации. В зависимости от длины дистанции и определяемой этим скорости бега фаза амортизации изменяет свою абсолютную и относительную длительность. В спринтерском беге она наименее продолжительна (в пре-

делах около 0,1 сек). У спортсменов высокой квалификации отношение ее длительности к фазе отталкивания в беге на 100 м — 0,57, на 400 м — 0,89, на 5000 м — 1,39. Иначе говоря, в скоростном беге она почти в 2 раза короче, чем отталкивание, а в стайерском беге — почти в полтора раза длительнее.

При неглубоком подседании во время быстрого бега мышцы, совершающие уступающую работу при амортизации, сильнее напрягаются и обуславливают последующее более мощное отталкивание. Амортизация осуществляется в основном в коленном суставе, а также в голеностопном и тазобедренном (уступающее приведение).

Фаза отталкивания начинается после окончания фазы амортизации с разгибания коленного сустава, но сам процесс отталкивания в целом значительно сложнее. С момента постановки ноги на опору движение маховой ноги вперед уже обуславливает продвижение вперед и положительное ускорение ОЦТ тела бегуна. Энергичный мах ногой вперед увеличивает это действие. Однако в фазе амортизации вследствие остановки опорной ноги и встречного направления опорной реакции неминуемо торможение ОЦТ тела.

Следует подчеркнуть, что при установившейся скорости бега в течение опорного периода скорость ОЦТ тела сначала снижается (при амортизации), а затем повышается (при отталкивании). Насколько велики эти колебания, точно не установлено, так как существующие методы определения координат ОЦТ тела (особенно при движениях) дают слишком большие погрешности.

В периоде полета каждая нога совершает движения сзади — поднимание и разгон (задняя петля) и спереди — торможение и опускание на опору (передняя петля). Смена направления движений происходит в крайних точках сзади и спереди (задняя и передняя критические точки). Эти точки более обоснованно определять по движению ОЦТ каждой ноги, но более точно по движению бедра. Движения к крайним точкам происходят

с замедлением в результате торможения растягиваемыми мышцами-антагонистами при их уступающей работе. Будучи в наибольшей степени напряженными в критических точках, мышцы начинают возвратные движения («сведение бедер»). Ускоренное движение маховой ноги в фазе разгона уменьшает торможение всего тела после приземления. Ускоренное движение ноги перед постановкой на опору также направлено на более раннее включение тяги разгибателей бедра в тазобедренном суставе после приземления. И это обстоятельство также способствует снижению тормозящего эффекта взаимодействия тела легкоатлета с опорой в фазе амортизации.

В обеих критических точках и в конце амортизации (в коленном и голеностопном суставах) проявляется эффект упругой отдачи мышц, характерный для возвратно-вращательных движений колебательного типа.

Убыстрение движений ног в периоде полета сокращает его длительность и, следовательно, повышает темп. Использование упругой отдачи с резонансным активным напряжением мышц в начале разгона позволяет повышать мощность бега.

Движения руками в беге лучше производить в плоскости, параллельной направлению бега. Это исключит реактивные боковые раскачивания туловища и лишнюю работу мышц для их нейтрализации.

* * *

*

Из легкоатлетических упражнений здесь приведены примеры только перемещений (прыжки, бег, ходьба). Особое внимание обращено на механизмы отталкивания от опоры и шагательные движения, основы которых широко используются во многих других физических упражнениях. В разборе этих движений обращено также внимание на упругую отдачу мышц, которая характерна для скоростно-силовых упражнений. Что же касается механизма легкоатлетических метаний, то основы этих действий частично освещены ниже (см. гл. IX, § 53).

Легкая атлетика так же как лыжные гонки и плавание относится ко *второй группе* упражнений (см. 58.2), в которых высокий результат обеспечивается стабильностью динамической структуры. Оптимальные напряжения мышц, объединяющие в совместном действии все приложенные силы, дают наивысший результат, приучают к точной мобилизации и использованию всех сил.

ГЛАВА VII. БИОДИНАМИКА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ НА ЛЫЖАХ

Передвижение на лыжах в любых условиях зависит от трения лыж о снег. Малая величина трения позволяет успешно скользить на лыжах, достаточная величина силы трения удерживает лыжу на снегу при отталкивании. Отталкивание от снега, выполняемое с помощью лыж и палок, сообщает телу необходимую скорость, поэтому биодинамика передвижения на лыжах рассматривает условия проявления трения, а также механизмы отталкивания лыжника. В настоящей главе, кроме описания механизмов трения и отталкивания, дается разбор стоек спуска, способов подъема, попеременных и одновременных ходов.

УСЛОВИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

Под условиями скольжения в практике принято понимать совокупность условий собственно скольжения лыж по снегу и их сцепления с ним, обеспечивающих скольжение после отталкивания¹. На скольжение лыжника влияет также сила тяжести, в основном определяющая силу нормального (перпендикулярного поверхности) давления на снег, затрудняющая скольжение на подъеме и обеспечивающая скорость спуска на склонах. Сопротивление воздуха проявляется заметно только при большой его скорости относительно тела, но тем не менее сказывается на скольжении.

§ 41. Силы трения при передвижении на лыжах

Лыжи взаимодействуют со снегом: возникают динамическая сила трения при скольжении, замедляющая скольжение, и статическая сила трения, удерживающая лыжу неподвижно на месте при отталкивании ею. Следовательно, динамическая сила трения — тормозящая, а статическая — уравновешивающая (см. 37.1).

41.1. Динамическая сила трения

Сила трения скольжения² динамическая (движения) возникает при скольжении лыжи по снегу, приложена к лыже и направлена в сторону, противоположную движению. Она зависит от величины движущей силы и приблизительно пропорциональна динамическому коэффициенту трения скольжения ($K_{\text{дин}}$) и силе нормального давления лыжи на снег (N):

$$T_{\text{дин}} = K_{\text{дин}} N.$$

¹ Строго говоря, здесь правильнее было бы говорить об условиях трения.

² В природе существует еще трение качения (колеса по опоре) и верчения (волчка на полу), которые здесь не рассматриваются.

Коэффициент трения здесь равен отношению силы трения (тормозящей лыжу) к силе нормального давления (прижимающей лыжу к лыжне):

$$K_{\text{дин}} = \frac{T_{\text{дин}}}{N}.$$

Коэффициент трения динамический зависит от соответствия качества смазки лыжи (сорт мази, толщина слоя мази, качество разрабатывания слоя), поверхности лыжни (мягкая, сыпучая, уплотненная, оледенелая, той или иной степени влажности и с тем или иным строением снега в зависимости от температуры и влажности воздуха и др.). Большое количество переменных факторов делает сам коэффициент непостоянным, очень изменчивым. В пределах 0,045—0,066 скольжение можно признать хорошим.

Считается, что сила трения скольжения не зависит от скорости скользящей лыжи, величины давления на единицу скользящей поверхности лыжи, от соотношения ширины и длины лыжи и других причин. Влияние этих факторов еще недостаточно изучено, но есть основания полагать, что они совсем не безразличны для скольжения.

Нормальное давление лыжи на опору равно сумме веса тела лыжника и вертикальной составляющей силы инерции частей тела, движущихся с ускорениями. Во всех случаях движений с ускорениями, направленными вверх (направление опорной ноги, движения туловища, ноги, рук), появляются силы инерции этих звеньев, направленные вниз. Силы инерции, увеличивая нормальное давление, примерно прямо пропорционально увеличивают силу трения при скольжении, тормозят скользящую лыжу.

С целью уменьшения трения в скользящем шаге рекомендуется правильная постановка лыжи на снег и плавная (хотя и быстрая) ее закрутка. Не следует допускать движений с большими ускорениями, направленными вверх (чтобы избежать перегрузки лыжи силами инерции). Завершенное отталкивание лыжей («на взлет») несколько снижает давление на лыжу в начале скольжения после отталкивания. Поджим рукой на палку с навалом туловищем вниз также уменьшает силу трения.

11.1 Статическая сила трения

Сила трения скольжения статическая (покоя) проявляется при неподвижном положении лыжи как сила сцепления ее со снегом, приложена к лыже и направлена в сторону, противоположную отталкиванию, т. е. вперед. Сила сцепления равна

силе, сдвигающей лыжу, но не может быть больше предельной. Предельная сила сцепления пропорциональна статическому коэффициенту трения скольжения ($k_{ст}$) и силе нормального давления лыжи на снег (N):

$$T_{ст} = K_{ст}N.$$

Таким образом, сила сцепления может быть полная (предельная) и неполная, когда сдвигающая сила меньше предельной силы сцепления. Чтобы определить неполную силу сцепления, надо измерить сдвигающую силу в данный момент. Полная сила сцепления измеряется в момент начала движения, когда лыжу уже нельзя удержать на снегу силой сцепления (срывается).

Коэффициент трения статический определяется только предельный, в момент срыва лыжи со снега. Он равен отношению предельной силы сцепления (удерживающей лыжу от срыва) к силе нормального давления (прижимающей лыжу к лыжне):

$$K_{ст} = \frac{T_{ст}}{N}.$$

Коэффициент трения статический (предельный) равен тангенсу угла трения (покоя) или угла сцепления. Этот угол образован вертикалью и направлением силы давления на снег (рис. 69, а). В пределах этого угла никакая по величине сила давления на лыжу не должна вызвать срыв («проскальзывание») лыжи. Хороший коэффициент сцепления для лыжных гонок — в пределах 0,20—0,25. Следовательно, угол сцепления в этом случае составит 11—14° и общая сила давления на лыжу может быть приложена под углом не более 76—79° к поверхности лыжни.

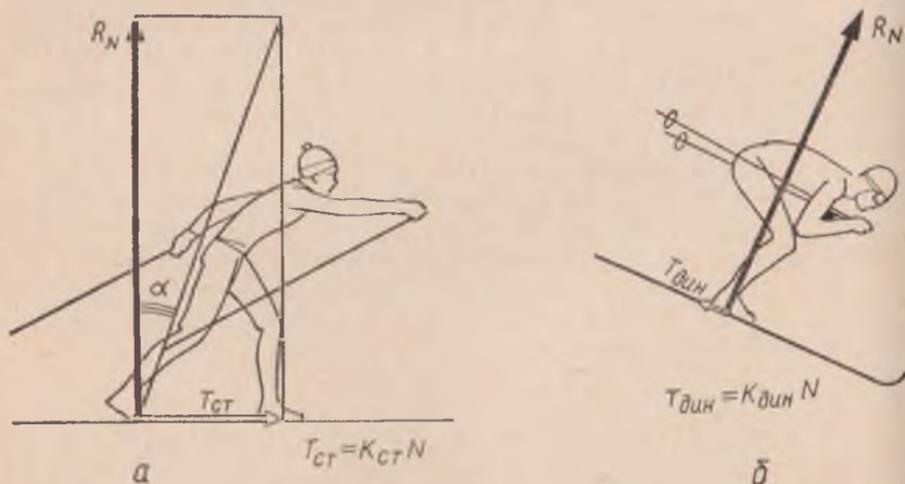


Рис. 69. Сила трения: а — на равнине; б — на склоне

Сила трения покоя всегда больше силы трения скольжения. Это увеличение силы трения происходит сразу, в момент остановки скользящей лыжи.

Считается, что сила сцепления не зависит от способа загрузки лыжи. Однако из практики известно, что лыжа, поставленная на склон «ударом», держит лучше, чем при плавной загрузке. Следует иметь в виду, что и торможение скользящей лыжи, и сцепление лыжи со снегом в покое зависят не только от силы трения, но и от других составляющих реакции опоры (сопротивление снега, подминаемого скользящей лыжей, врезавшееся в снег ребро лыжи).

§ 42. Влияние силы тяжести и сопротивления воздуха на тело лыжника

42.1. Действие силы тяжести

Вес тела лыжника на горизонтальной лыжне в основном определяет силу трения скольжения и сцепления, на подъеме тормозит движение вверх по склону, а на спуске увеличивает скорость.

Сила тяжести тела лыжника передается как его вес через лыжу на снег, прижимает лыжу к снегу. На склоне вес приложен к лыже под углом, отличным от прямого (на подъеме — под острым углом, на спуске — под тупым). Его можно разложить на две составляющие: а) перпендикулярную лыжне, прижимающую силу и б) параллельную лыжне на склоне, скатывающую; на подъеме она играет роль сдвигающей (направлена на сдвиг неподвижной лыжи) и тормозящей скольжение.

По мере увеличения крутизны склона на подъеме прижимающая сила уменьшается, а скатывающая (или сдвигающая) увеличивается. Следовательно, сила сцепления лыжи со снегом уменьшается, а сдвигающая сила становится больше. Когда сдвигающая сила станет превышать предельную силу сцепления, лыжа проскользнет назад.

По мере увеличения крутизны склона на подъеме на каждый шаг лыжнику приходится поднимать свое тело больше вверх, совершать большую работу. Это заставляет изменять направление нажима на лыжу, чтобы оно не вышло за пределы угла сцепления. При этом приходится укорачивать шаг.

При одной и той же крутизне склона лыжню на подъеме можно проложить по линии наибольшей крутизны («линия падения воды») и по направлениям, отклоняющимся от этой линии. Отклонение лыжни в более косой подъем означает уменьшение наклона лыжни к горизонту, что равнозначно уменьшению крутизны склона. Однако здесь есть и различие: нижнее ребро лыжи на склоне врезается в снежный покров. Возникает опорная реакция от врезывания канта лыжи в снег — реакция кантования, которая быва-

ет намного больше силы сцепления и играет решающую роль в ряде способов подъема.

По мере увеличения крутизны склона на спуске прижимающая сила уменьшается, значит, сила трения скольжения меньше. Скатывающаяся же сила увеличивается и становится главной движущей силой. На совсем отлогих склонах скатывающаяся сила мала и нужно еще отталкиваться лыжами и палками. На спуске, как и на подъеме, изменение направления движения на лыжах равнозначно изменению крутизны склона. Реакция кантования лыжи на спуске не столько замедляет скольжение лыжи, сколько заставляет ее скользить вдоль своей продольной оси, а не соскальзывать боком по направлению наибольшей крутизны склона.

42.2. Действие сопротивления воздуха

Сопротивление воздуха телу движущегося лыжника представляет собой лобовое сопротивление (см. 23.3). Оно, как известно, зависит от площади наибольшего поперечного сечения тела, обтекаемости и ориентации тела в потоке воздуха, квадрата относительной скорости, а также от плотности воздуха. В лыжном спорте роль этих факторов в зависимости от конкретных условий различна.

На малых скоростях коэффициент лобового сопротивления (влияние обтекаемости и ориентации) менее существен, чем на больших (прыжки на лыжах с трамплина, горнолыжные виды). Роль относительной скорости с ее увеличением очень существенно возрастает (примерно во второй степени). Для прыгунов на лыжах с трамплина очень важна подъемная сила (направленная вертикально), что несущественно в других видах лыжного спорта. Наконец, плотность воздуха влияет на уровень достигаемой скорости, но, так как в лыжном спорте не регистрируют рекордов и все участники на данных соревнованиях находятся в одинаковых условиях, эта зависимость не представляет интереса для анализа.

Для лыжника-гонщика и горнолыжника действие сопротивления воздуха важно на спусках. В этих условиях можно изменять скорость спуска путем изменения наибольшего поперечного сечения тела и коэффициента лобового сопротивления, что учитывают при выборе стойки.

Лыжник-гонщик в одновременных ходах и отчасти в попеременных при наклоне туловища уменьшает лобовое сопротивление, что влияет на скорость скольжения, особенно при встречном ветре.

§ 43. Разбор стоек спуска и способов подъема

43.1. Биодинамика стоек спуска

В зависимости от условий и задач спуска лыжник выбирает соответствующую им стойку. При изменении условий и задачи лыжник изменяет стойку.

Условия спуска определяют скорость лыжника. С увеличением длины и крутизны склона скорость нарастает. Одновременно нарастает сопротивление воздуха. На достаточно длинных склонах именно сопротивление воздуха обуславливает предел максимальной скорости.

Для лыжника-гонщика стоят задачи удержания устойчивого положения, достижения большой скорости и сохранения работоспособности.

Сложность сохранения устойчивости определяется рельефом местности (наличие неровностей — бугров, впадин, изгибов склона), направлением спуска и его изменениями, качеством снежного покрова и другими факторами. Устойчивость улучшается при увеличении площади опоры в требуемых пределах в поперечном направлении (узкая, широкая стойка) и в передне-заднем (основная, передне-задняя). На устойчивость влияет высота расположения ОЦТ тела лыжника (высокая, средняя, низкая стойка).

Скорость спуска, помимо коэффициента трения, зависит от высоты стойки (площадь поперечного сечения тела) и позы (обтекаемость). Для сохранения работоспособности нецелесообразно слишком значительное сгибание ног, большое напряжение мышц, мешающее амортизации. С учетом всех факторов наиболее употребительны средняя стойка (рис. 70, а) и стойка отдыха (рис. 70, б).

В средней стойке с небольшим выдвиганием одной лыжи имеется достаточная устойчивость во всех направлениях, запас воз-

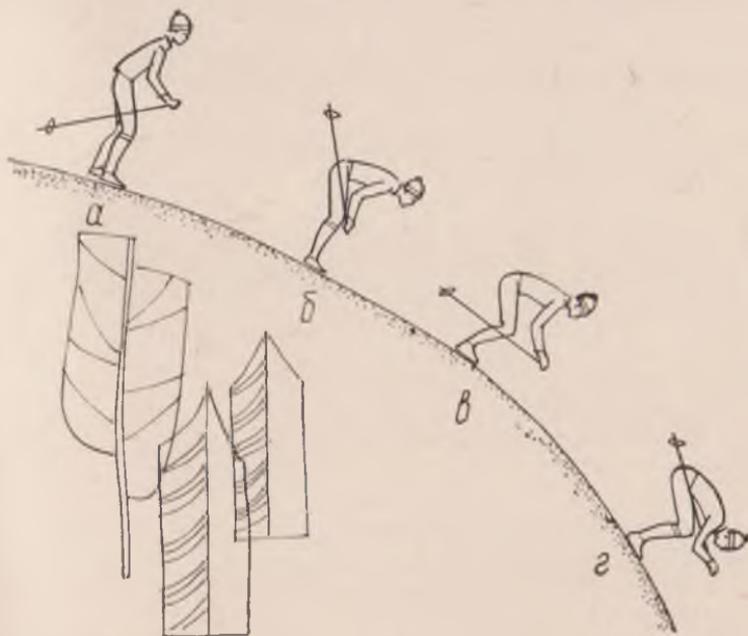


Рис. 70. Стойки спуска: а — средняя; б — отдыха; в — низкая; г — аэродинамическая

возможностей для амортизации на неровностях, небольшое сопротивление воздуха, умеренное напряжение мышц и к тому же возможности обзора участка спуска.

Стойка отдыха применяется на более длинных, спокойных спусках. Ноги более выпрямлены, что дает отдых мышцам ног, но сохраняется возможность амортизации. Туловище опирается на руки, расположенные предплечьями на передних поверхностях бедер. Эта опора разгружает мышцы спины. Кроме того, наклонное положение туловища уменьшает лобовое сопротивление.

Для горнолыжника в связи с прохождением ворот на трассе стойка изменяется в соответствии с задачами и условиями на каждом участке трассы. Крепления горнолыжников позволяют в большей мере изменять углы устойчивости в передне-заднем направлении движениями в голеностопных суставах. На высоких скоростях особенно повышаются требования к обтекаемости тела (рис. 70, з).

43.2. Биодинамика способов подъема

При относительно удовлетворительных условиях сцепления лыжи с лыжной применяются скользящие способы подъема, которые целесообразно рассматривать с попеременным двухшажным ходом, поскольку они близки к нему. Здесь будут разобраны способы подъема ступающим шагом на склонах не по лыжне (рис. 71).

Создание опоры для лыжи обеспечивается меньшим углом наклона лыжи к горизонту и постановкой лыж на ребра (кантование лыж). По мере увеличения крутизны склона на него поднимаются наис-

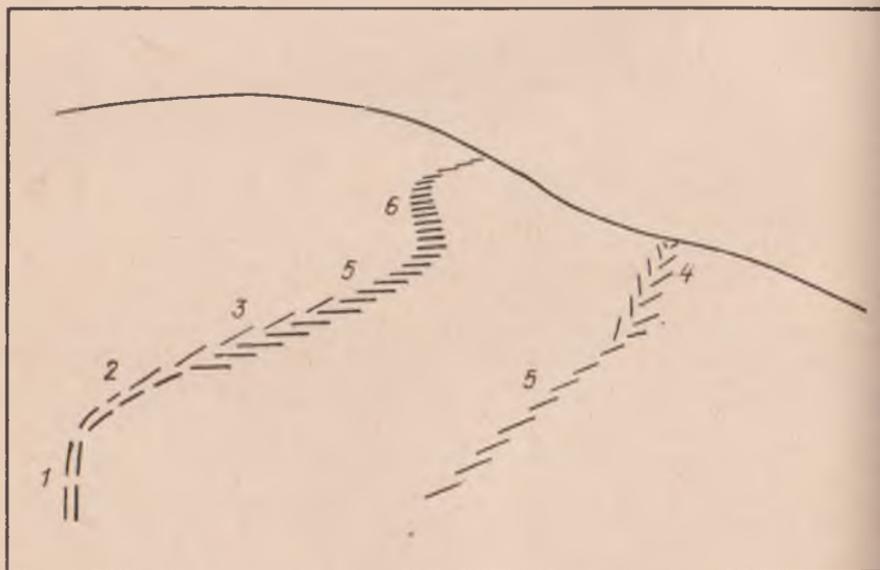


Рис. 71. Способы подъема

кось, при этом начинается еще малозначительное кантование лыж (рис. 71, 2). Отставляя нижнюю по склону лыжу в горизонтальное положение, получают более надежную опору через один шаг («полуелочка») (рис. 71, 3). Постановкой обеих лыж горизонтально переходят к косой лесенке (с продвижением вперед) (рис. 71, 5) или прямой (продвижение вверх) (рис. 71, 6). Возможен также подъем по крутому склону не боком, а лицом вперед («елочкой») (рис. 71, 4), переставляя одну лыжу вперед через пятку другой. Учитывая неровности на склоне, по желобу проходят косой лесенкой, а по гребню — «елочкой», ставя лыжи по обе стороны гребня.

Во всех способах подъема создается также надежная опора на палки, повышающая устойчивость и предупреждающая соскальзывание вниз.

МЕХАНИЗМ ОТТАЛКИВАНИЯ ЛЫЖАМИ И ПАЛКАМИ

В лыжных ходах после очередного свободного скольжения, в течение которого скорость падает из-за трения лыж о снег и сопротивления воздуха, лыжник вновь увеличивает скорость посредством отталкивания лыжами и палками от снега. Лыжник отталкивается движениями ног и рук, но отталкивание обусловлено еще целым рядом движений. Таким образом, отталкивание лыжей включает в себя отталкивание ногой, но не сводится к последнему. То же следует сказать про отталкивание палкой и рукой.

§ 44. Условия эффективного отталкивания лыжей

44.1. Отталкивание ногой

При отталкивании ногой лыжник выпрямляет ее в суставах, вследствие чего таз отдалается от места опоры ноги.

Движения отталкивания ногой выполняются разгибанием бедра в тазобедренном суставе и голени в коленном, а также подошвенным сгибанием стопы в голеностопном суставе. Все эти движения начинаются в разное время, но заканчиваются практически одновременно.

Разгибание опорной ноги в тазобедренном суставе начинается раньше всего, еще до остановки скользящей лыжи. Так же еще до ее остановки начинается сгибание ноги в коленном суставе (подсезание), продолжающееся и после остановки лыжи. Нога пока еще медленно, но все быстрее разгибается в тазобедренном суставе. Далее начинается выпрямление ноги уже и в коленном суставе.

С остановкой лыжи голень наклоняется вперед быстрее, чем пятка стопы приподнимается над лыжей, поэтому стопа разгибается (в тыльную сторону) в голеностопном суставе. Это движение еще продолжается после начала разгибания ноги в коленном суставе. Следовательно, в нижерасположенных суставах еще проходит под-

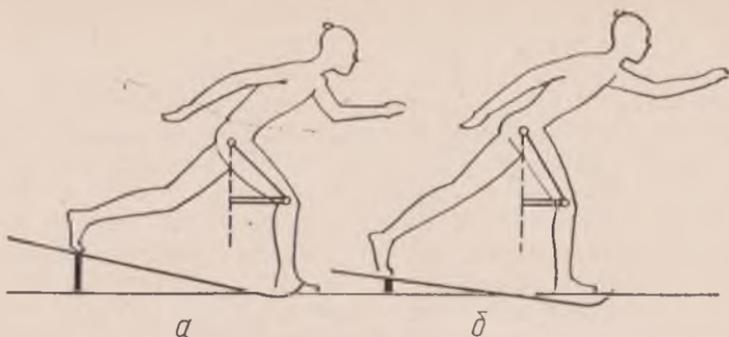


Рис. 72. Скольжение на лыже после отталкивания ног: *a* — неправильного; *б* — правильного

готовка к отталкиванию, когда в вышерасположенных оно уже началось. Лишь в заключительные сотые доли секунды растянутые мышцы голеностопного сустава выполняют завершающее движение отталкивания стопой.

Короче говоря, *отталкивание ног начинается с движения в тазобедренном суставе, лишь потом присоединяются движения в коленном и, наконец, в голеностопном суставах.*

Возможен акцент усилий либо на движении всей ноги назад («гребущее»), либо на быстром ее выпрямлении («выталкивающее») при достижении оптимального наклона ее к горизонту.

Первый вариант был характерен для техники прежних лет: нога не успевала вовремя выпрямиться, снималась с опоры раньше, чем были использованы все возможности отталкивания; после отталкивания нога по инерции высоко поднималась вверх.

Второй вариант характерен для современной техники: он обеспечивает большую мощность отталкивания (и сила, и быстрота отталкивания больше); отталкивание дает более высокую скорость скольжения, направлено более целесообразно, хорошо прижимая лыжу к снегу и завершаясь более полным выпрямлением ноги.

Итак, «г р е б у щ е е» движение без завершения отталкивания, с высоким подниманием ноги после отталкивания — это неправильное движение (рис. 72, *a*). «Выталкивающее» движение с быстрым завершенным отталкиванием и поэтому без высокого поднимания ноги после него — это правильное движение отталкивания (рис. 72, *б*).

В результате отталкивания ног таз отдалается от опоры и получает скорость, направленную вперед. Напомним, что с тазом так перемещается и все тело, кроме опорной ноги и толчковой руки.

44.2. Маховые движения

Маховые движения лыжника при отталкивании — это быстрые перемещения свободных звеньев тела, имеющие направление в основном одинаковое с направлением отталкивания ног от лыжни (вперед и вверх).

Первая фаза каждого махового движения — разгон, увеличение скорости звена до максимума; вторая фаза — торможение, снижение скорости до остановки маха.

В течение обеих фаз центр масс звеньев смещается в сторону отталкивания, значит, в ту же сторону смещается ОЦТ тела лыжника. В фазе разгона ускорение маховых звеньев косвенно увеличивает ускорение ОЦТ тела лыжника.

Мах выполняется по возможности более выпрямленными руками и ногами, что увеличивает перемещение их центров масс и, следовательно, оказывает большее влияние на перемещение и ускорение ОЦТ. Возникающие при ускорениях звеньев их силы инерции через звенья тела (кости и мышцы) передаются назад-вниз. Эти силы инерции способствуют прижиманию лыжи к снегу, увеличению напряжения мышц толчковой ноги, замедлению при этом выпрямления толчковой ноги в начале отталкивания.

Последние два обстоятельства совместно увеличивают импульс силы (численно равный произведению силы и времени ее действия).

Одновременно выполняется бросок тела вперед, тоже имеющий значение махового движения.

Бросок тела вперед представляет собой сложное движение и включает:

а) поворот таза и небольшое отведение его в сторону маховой ноги в тазобедренном суставе опорной ноги;

б) скручивание поясничного отдела позвоночника, когда верхняя часть туловища не изменяет ориентацию относительно лыжни (при опоре на палку), а таз поворачивается;

в) поворот бедра маховой ноги относительно таза наружу, когда лыжа на этой ноге сохраняет ориентацию относительно лыжни, а таз поворачивается.

Эти движения направлены на ускорение ОЦТ тела лыжника, поскольку в броске перемещаются значительные массы тела (все тело, кроме опорной ноги и толчковой руки). Движение выполняется сравнительно медленно, с относительно небольшой амплитудой, но при большом напряжении мышц.

Характерной чертой броска тела служит момент его выполнения — к началу выпада маховой ногой; последняя выходит вперед относительно опорной. Если не сделать своевременно броска телом, то в выпаде маховая нога выйдет слишком далеко вперед относительно туловища (см. рис. 72, а), чего допускать нельзя. Если таз к окончанию выпада будет намного сзади стопы маховой ноги, то поза начала скольжения будет неверной («отставание тела от опоры»), из-за чего будут искажены все последующие движения.

Наибольшие ускорения маховых звеньев всегда развиваются раньше, чем достигаются их наибольшие скорости. Максимум скорости достигается в момент, когда сила снижается до нуля. Большая скорость «закладывается» во время наибольших усилий и ускорений.

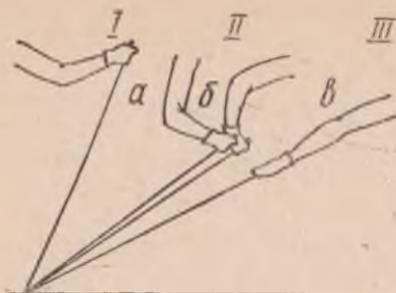


Рис. 73. Отталкивание палкой: а — при скольжении лыжи; б — при акценте броска; в — при доталкивании

§ 45. Условия эффективного отталкивания палками

45.1. Отталкивание палками в попеременных ходах

Отталкивание палкой в попеременных ходах включает отталкивание рукой, одновременный наклон туловища и передачу усилий с палки на скользящую лыжу.

Первая зона отталкивания рукой (скольжение лыжи) — от постановки палки до момента останова скользящей лыжи (рис. 73).

Рука разгибается в плечевом суставе, несколько сгибается в локтевом и отводится (в сторону большого пальца) в лучезапястном. По мере наклона палки увеличивается активный наклон туловища («навал») и нажим рукой на палку. В течение этого нажима на палку нужно поддерживать скорость скользящей лыжи, по возможности даже увеличить ее. Для этого стопа со скользящей лыжей выдвигается вперед, чтобы исключить преждевременный перекат (обгоняющее перемещение тела вперед над лыжей).

Вторая зона отталкивания рукой (акцент броска) — от момента останова лыжи до максимума скорости тела при броске вперед. Используя опору максимально напряженной рукой на палку, лыжник выполняет бросок телом вперед, одновременно делая махи рукой и ногой.

Третья зона отталкивания рукой (доталкивание) — заключительное движение кистью и завершающее выпрямление руки в локтевом суставе. Это движение помогает завершению переката тела над лыжей и особенно важно на подъемах, когда тело всегда значительно отстает от стопы опорной ноги в конце выпада.

Как видно, отталкивание палкой здесь включает (кроме движений рукой) очень важный навал туловищем и передачу усилий при опоре на палку к скользящей лыже. И то и другое осуществляется посредством дополнительных движений и усилий. Строго говоря, все маховые движения, рассмотренные выше, влияют на отталкивание рукой, как и на отталкивание ногой (исключая прижимание лыжи к лыжне).

45.2. Отталкивание палками в одновременных ходах

Отталкивание двумя палками сразу в одновременных ходах включает отталкивание руками с акцентом на энергичный наклон туловища и передачу усилий на лыжи.

При отталкивании палками руки сначала разгибаются в плечевых суставах (в локтевых суставах слегка сгибаются). Далее добавляется разгибание рук в локтевых суставах, завершаемое дви-

жением кистей. Наибольшее усилие возникает в момент, когда мышцы локтевых и лучезапястных суставов завершили уступающие движения и максимально напряглись. В этот момент в одно-временных ходах имеет место акцент усилий — в наиболее выгодном положении наибольшее усилие.

Движение туловища до горизонтали усиливает нажим на палки и уменьшает угол отталкивания. В это же время почти выпрямленная опорная нога (в одно- и двухшажных ходах) несколько выскальчивает стопой вперед, что обеспечивает передачу усилий на лыжу (в бесшажном ходе — на обе лыжи). Грубая ошибка — сгибание ног при отталкивании палками: в этом случае голени наклоняются вперед (тело продвигается вперед над лыжами), усилия амортизируются мышцами и меньше ускоряют скользящие лыжи.

§ 46. Разбор попеременных и одновременных ходов

46.1. Биодинамика попеременных ходов

Попеременные ходы характеризуются скользящими шагами с попеременным отталкиванием палками. Наиболее часто применяется попеременный двухшажный ход. Цикл хода состоит из двух шагов. Каждый шаг удобно разделить на пять фаз (рис. 74).

I фаза — свободное скольжение от момента отрыва толчковой ноги до момента постановки палки. Задача движений в этой фазе — возможно меньше терять скорость скольжения, сохраняя его длину. Для этого не сле-

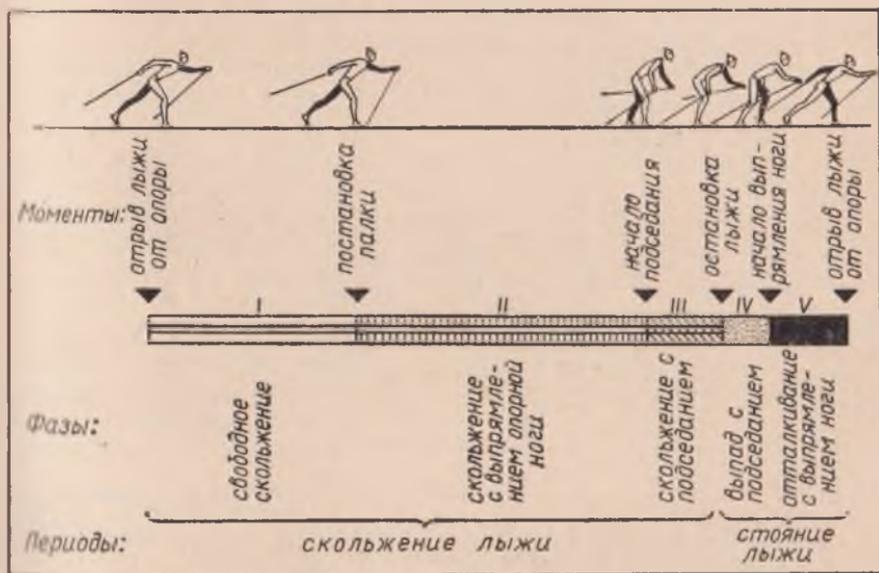


Рис. 74. Фазовый состав попеременного двухшажного хода на лыжах (по Х. Х. Гроссу)

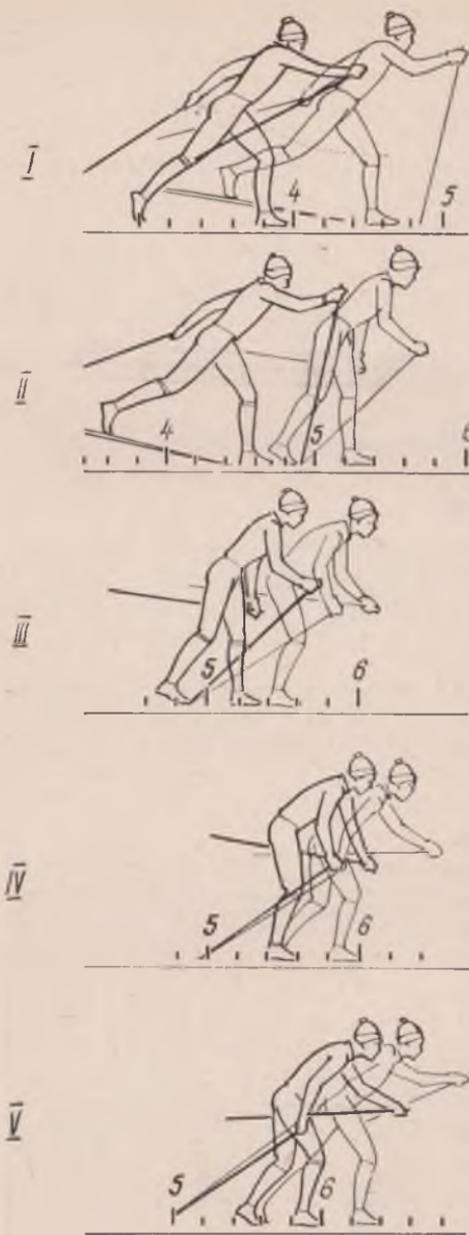


Рис. 75. Передвижения по фазам попеременного двухшажного хода: цифры I—V — фазы шага; цифры 4, 5, 6 — метровая разметка

дует делать движений частей тела с ускорениями, направленными вверх, чтобы силы инерции не прижимали лыжу к снегу (рис. 75).

II фаза — скольжение с выпрямлением ноги (длится до начала подседания). Здесь важно наклонном туловища и активным движением рукой стремиться увеличить скорости скольжения лыжи, передавая усилия на лыжу.

III фаза — скольжение с подседанием (заканчивается в момент остановки лыжи). В этой фазе усиливаются согласованные маховые движения рукой и ногой.

IV фаза — выпад с подседанием (длится до начала разгибания толчковой ноги после подседания). В это время лыжник выполняет энергичный выпад (продолжение маха ногой), мах рукой и бросок тела вперед.

V фаза — отталкивание с выпрямлением ноги — завершает наращивание скорости тела при последующем скольжении.

В периоде скольжения (фазы I—III) продвижение скользящей лыжи замедляется (не считая краткого ускорения от нажима палкой и выдвигания стопы вперед). В периоде стояния лыжи скорость маховой ноги нарастает до конца IV фазы, а потом вследствие торможения растягивающимися мышцами-антагонистами снижается до начальной скорости скольжения.

При овладении скользящим шагом важно научиться «стоять» на лыже при скольжении на ней, сохранять устойчивость, а

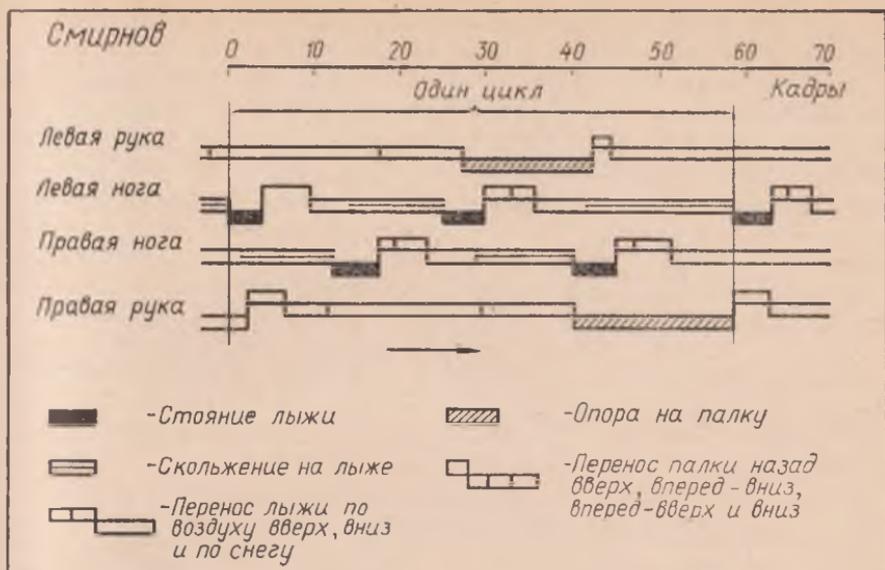


Рис. 76. Хронограмма попеременного четырехшажного хода

также «держать опору», обеспечивать сцепление лыжи со снегом при отталкивании ею.

Характерными особенностями современной техники считаются стремление уменьшить трение лыжи о снег завершенным отталкиванием («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.

Попеременный четырехшажный ход имеет на четыре скользящих шага два отталкивания палками (рис. 76). На хронограмме видно, как на первые два шага делается поочередный вынос палок с задержкой ранее вынесенной. На последующие два шага приходится отталкивания палками. В соревнованиях этот ход как наиболее медленный и неэкономичный сейчас уже не применяется. Однако в походных условиях на лыжне, проложенной по целине, где палки проваливаются в снег, этот ход целесообразен, так как экономит силы.

48.2. Биодинамика одновременных ходов

Одновременные ходы характеризуются одновременным отталкиванием двумя палками. В одновременном бесшажном ходе (рис. 77, а) лыжник делает сильные отталкивания двумя палками, стоя на лыжах, поставленных рядом. Наклон

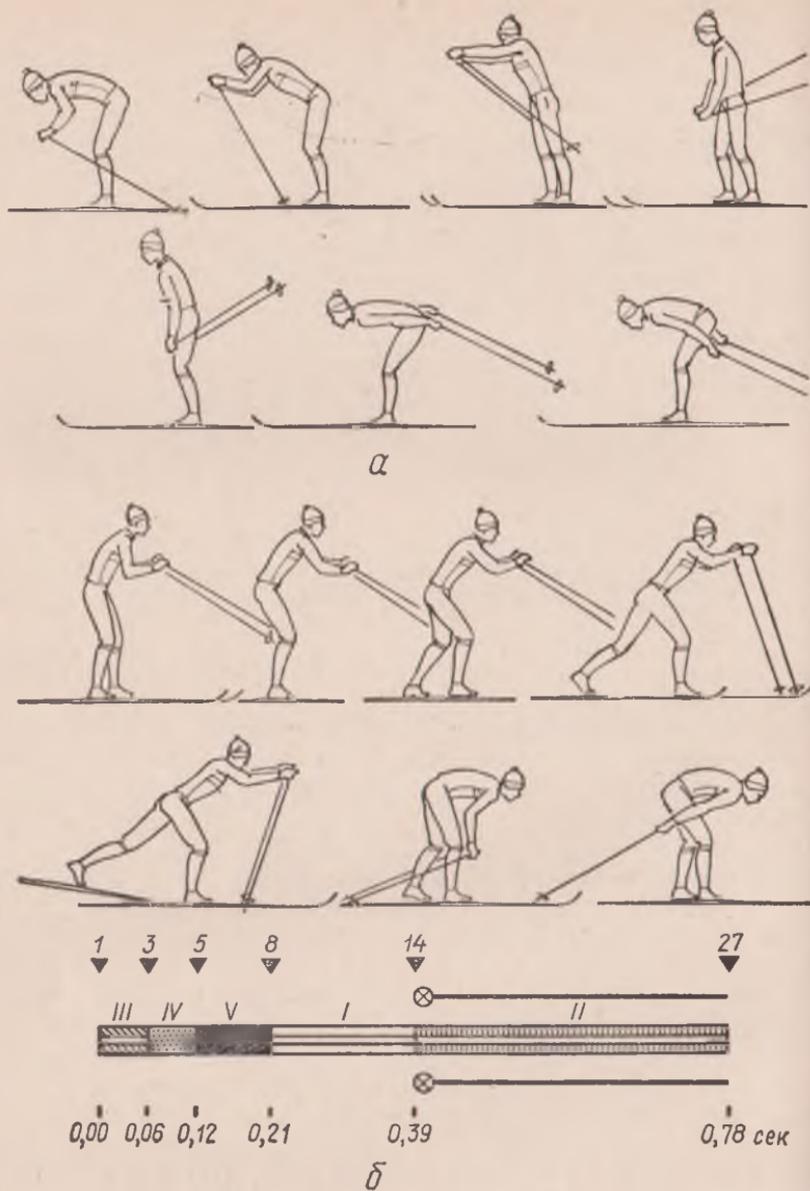


Рис. 77. Одновременные ходы: *а* — бесшажный; *б* — одношажный (по Х. Х. Гроссу)

туловища вперед усиливает нажим на палки. Отталкивание палками акцентировано, когда кисти рук приближаются к ногам. Вынос палок выполняется со спокойным выпрямлением туловища.

Одновременный одношажный ход (рис 77, б) включает один энергичный скользящий шаг с отталкиванием ногой. В современном варианте так называемого «стартового» одновременного одношажного хода вместе с отталкиванием ногой выполняется вынос палок маховым движением, что усиливает отталкивание ногой. Палки ставятся на снег на большой скорости, и начинается энергичный нажим на палки. После отталкивания палками следует прокат в наклонном положении.

В прежнем (более спокойном) варианте в отличных условиях скольжения после свободного проката на двух лыжах палки выносили плавным движением и лишь после этого делали скользящий шаг с отталкиванием лыжей и ставили палки на снег.

Применяют еще и одновременный двухшажный ход, когда отталкивание палками выполняют после двух скользящих шагов.

Во всех фазах свободного скольжения недопустимы движения частей тела с ускорениями, направленными вверх, так как это вызывает силы инерции, направленные вниз, что увеличивает трение и замедляет скольжение.

* *
*

Из обширной группы способов передвижений на лыжах здесь рассмотрена лишь та часть, которая наиболее доступна для школьников (не приведены горнолыжные виды спорта и прыжки на лыжах с трамплина). Следует отметить, что при разборе далеко не полностью представлен также материал, полученный современными методами кибернетического моделирования, которые все более широко применяются при изучении физических упражнений.

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 тела в воду и активных движений пловца. Специфические особенности биодинамики плавания связаны с тем, что силы, тормозящие продвижение, значительны, переменны и действуют непрерывно. У пловца нет постоянной опоры для отталкивания вперед. Она создается во время гребковых движений. В настоящей главе излагаются условия создания сил и движущих, и тормозящих, а также механизм гребковых действий пловца, направленных на более эффективное передвижение в воде.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛА ПЛОВЦА С ВОДОЙ

Погружение в воду обуславливает возникновение сил статического взаимодействия (выталкивающая сила). Активные движения пловца и продвижение его в воде вызывают силы динамического взаимодействия (лобовое сопротивление, подъемные силы). Следовательно, положение тела пловца в воде и его движения обуславливают всю совокупность сил, которые решающим образом определяют эффективность плавания.

§ 47. Статическое действие водной среды

47.1. Силы, приложенные к плавающему телу

Погруженное в воду тело пловца находится под действием погружающей и выталкивающей сил; при их равенстве тело не всплывает и не тонет.

П о г р у ж а ю щ а я с и л а — это сила тяжести тела, направленная вниз и приложенная к его ОЦТ. В ы т а л к и в а ю щ а я с и л а возникает по закону Архимеда: она обусловлена разностью давлений воды на нижнюю и верхнюю поверхности погруженного тела (см. рис. 33, а). По величине она равна весу воды в объеме погруженной части тела. При более глубоком и полном погружении выталкивающая сила растет. По мере поднимания

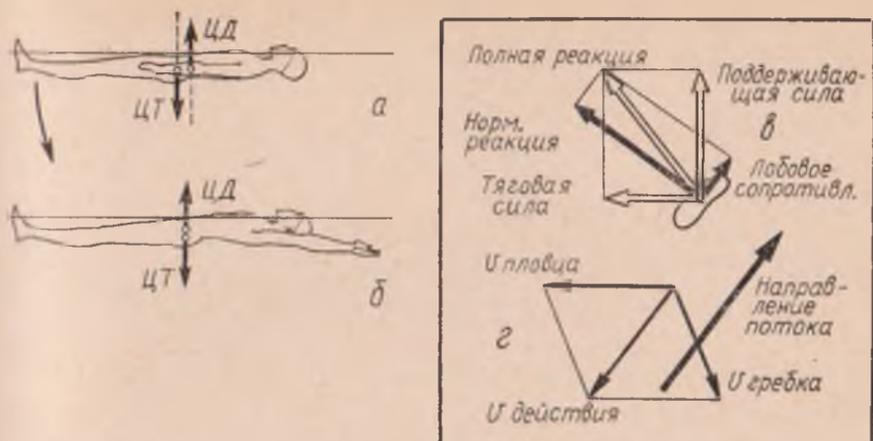


Рис. 78. Уравновешивание тела пловца в воде: *а* — отсутствие равновесия; *б* — уравновешенное положение; *в* — образование тяговой силы; *г* — образование скорости гребущей поверхности (действия) на воду

над водой частей тела (например, во время движения руки по воздуху перед гребком) выталкивающая сила уменьшается. Она направлена снизу вверх и приложена к центру объема тела, если все тело полностью погружено в воду. Если тело погружено в воду не полностью, то выталкивающая сила приложена к центру объема погруженной части всего тела.

Таким образом, *погружающая сила постоянна по величине, но меняет точку приложения при изменении позы. Выталкивающая сила изменяет и свою величину, и точку приложения в зависимости от погружения тела в воду и его позы.*

47.2. Уравновешивание тела пловца в воде

Тело пловца в воде уравновешено, когда погружающая и выталкивающая силы равны по величине и их действие направлено по одной линии.

Если погружающая и выталкивающая силы приложены не по одной линии, то они образуют пару сил (рис. 78, *а*). Обычно ОЦТ тела пловца (при положении на спине с вытянутыми вдоль туловища руками) расположен ближе к ногам, чем центр объема вытесненной воды (центр давления — ЦД). В этом положении нижняя часть тела опускается вниз. Чтобы сохранить горизонтальное положение (уравновеситься), следует руки вытянуть за головой, что переместит ОЦТ тела пловца к головной части тела (рис. 78, *б*). Если в этой позе ноги опускаются вниз, можно приподнять кисти и предплечья над водой, в результате ЦД переместится к ногам, но тогда выталкивающая сила может оказаться меньше погружающей и пловец, уравновесившись, уйдет в воду глубже.

Кроме того, следует учесть, что в случае когда ОЦТ тела пловца расположен по вертикали выше, чем центр объема погруженной части тела, возникает неустойчивый вид равновесия: малейшее отклонение вызовет поворачивающую пару сил. На условия равновесия влияют также дыхательные движения, изменяющие объем тела.

Таким образом, *плавучесть тела, уравнивание его в воде зависит от множества причин.*

Человек, умеющий плавать, удерживается на воде не только вследствие «пассивной плавучести», но и благодаря многим автоматическим малозаметным движениям, изменяющим условия статической плавучести и добавляющим действие подъемных сил.

§ 48. Динамическое взаимодействие тела пловца с водой

48.1. Силы давления и трения в потоке

Динамическое взаимодействие при относительном движении пловца и воды обусловлено разностью давлений, а также трением между телом и пограничными слоями воды.

Разность давлений при движении тела в воде возникает вследствие изменений в самой воде.

Различают линии тока, в каждой точке которых скорость частицы воды направлена по касательной. Линия тока характеризует скорость разных частиц воды в одно и то же мгновение. Не следует смешивать с линиями тока траектории частиц воды: скорость частицы воды всегда направлена по касательной к ее траектории, однако *траектория — это след одной частицы* в последовательные моменты времени, а *линия тока характеризует движение разных частиц* в один и тот же момент времени. Именно линии тока и характеризуют изменения в потоке воды, которые создают разность давлений.

В невозмущенном потоке (ламинарное течение) линии тока, обтекая тело, не возвращаются обратно. В возмущенном потоке (турбулентное течение) возникают завихрения. По закону Бернулли там, где скорость потока больше, давление, перпендикулярное потоку, меньше. При обтекании тела поток перед ним замедляется (поджатие), создается область повышенного давления воды на тело. Сзади тела поток отрывается от тела, возникают завихрения, разрежение, создается область пониженного давления воды на тело¹.

Разность давлений обуславливает лобовое сопротивление воды (см. 23.3). Эта сила направлена одинаково с потоком, и именно в ту же сторону. Уменьшение площади наибольшего поперечного сечения тела и улучшение обтекаемости (формы тела) снижают лобовое сопротивление. В невозмущенном потоке оно меньше, чем в возмущенном.

¹ Законы вихревого движения еще во многом не изучены. Приведенные объяснения значительно упрощают действительность.

Разность давлений обуславливает и так называемую по д ъ е м н у ю с и л у при положении тела под острым углом к направлению потока (см. 23.3). Подъемная сила направлена перпендикулярно потоку. Это понятие аэродинамики: действуя на крыло самолета, эта сила поддерживает его против силы тяжести. При движении всего тела пловца в воде под тем или иным «углом атаки» подъемная сила действительно направлена вверх против погружающей силы. Возникающая в гребковых движениях так называемая подъемная сила чаще всего имеет направление, не вертикальное, да и к тому же мпяющееся, поэтому целесообразнее называть ее по смыслу действия — н о р м а л ь н а я р е а к ц и я в о д ы¹ (рис. 78, в.)

Эта сила совместно с лобовым сопротивлением дает равнодействующую — п о л н у ю р е а к ц и ю в о д ы. Составляющие этой силы, вертикальные относительно Земли, правильно называть п о д д е р ж и в а ю щ и м и с и л а м и, а горизонтальные — т я г о в ы м и с и л а м и, поскольку они определяют возможность продвижения пловца вперед.

Давление н а б е г а ю щ е г о потока воды больше, чем давление с противоположной стороны тела в с х о д я щ е м потоке. Разность повышенного и пониженного давлений обуславливает динамическое действие воды, т. е. лобовое сопротивление и нормальную реакцию воды, а следовательно, и их равнодействующую, полную реакцию воды. Последняя, давая две составляющие (поддерживающая и тяговая силы), обуславливает уравнивание тела в воде по вертикали и продвижение тела пловца вперед относительно гребущей руки. Скорости пловца и гребка совместно обуславливают скорость действия на воду (рис. 78, г).

Напомним, что сама по себе тяговая сила не продвигает пловца вперед. Гребущие звенья и остальные части тела движутся относительно друг друга в воде в противоположных направлениях. В конечном счете движения остальных частей тела вперед относительно воды больше, чем движения гребущих звеньев назад. И те и другие движения вызваны тягой мышц, направленной на движение против сил реакции воды.

Таким образом, *создаваемая разность давлений влияет на величину лобового сопротивления и нормальной реакции воды, а в целом на полную реакцию воды* и, следовательно, на тяговую силу.

Т р е н и е между телом и водой возникает вследствие неровностей поверхности тела и действия молекулярных сил сцепления. Сила трения влияет на лобовое сопротивление, а через него и на полную реакцию воды.

С повышением скорости тела относительно воды, увеличением площади лобового сечения, ухудшением обтекаемости увеличивается п о л н а я р е а к ц и я в о д ы.

¹ Н о р м а л ь н а я — перпендикулярная направлению потока.

При выполнении гребковых движений создается разность встречных и попутных реакций воды, что позволяет продвигать тело пловца вперед относительно гребущих звеньев и стенки бассейна.

В наиболее быстрых гребковых движениях (рукой в кроле) скорость их примерно в 3 раза выше, чем скорость продвижения тела вперед. Поперечное сечение гребущих звеньев меньше, чем у тела пловца, но разница в скоростях вследствие квадратичной зависимости от них реакции воды обуславливает силы тяги более значительные, чем силы сопротивления.

При всех гребковых движениях (за исключением движений ног в кроле) гребущие звенья движутся относительно остальных частей тела назад. Это значит, что остальные части тела движутся относительно гребущих звеньев вперед. В начале гребкового движения пловец плывет по дистанции с известной начальной скоростью. Вследствие гребка туловище продвигается вперед со скоростью большей, чем начальная. Гребущие звенья движутся относительно туловища назад и проходят в воде путь назад от места начала гребка. При этом они движутся относительно туловища быстрее, чем относительно воды.

Таким образом, механизм динамического взаимодействия пловца с водой основан на изменениях сопротивления воды, вызываемых в первую очередь скоростью движения частей тела относительно воды.

ГРЕБКОВЫЕ ДВИЖЕНИЯ

§ 49. Условия эффективности гребковых движений

На эффективность гребковых движений влияют форма и ориентация гребущих звеньев, а также их траектории и распределение усилий.

49.1. Форма и ориентация гребущих звеньев

Изогнутая форма гребущих поверхностей и определенная угловая ориентация их к потоку повышают эффективность гребка.

Определенная изогнутость гребущих поверхностей дает положительный эффект. Так, кисть и стопа в кроле характеризуются вогнутостью гребущих поверхностей. Рука в кроле также характерно изогнута, как и нога в коленном и голеностопном суставах при захлестывающем движении.

Ориентация гребущей поверхности кисти перпендикулярно потоку должна была бы создать благодаря наибольшей площади поперечного сечения наибольшее давление. Одна-

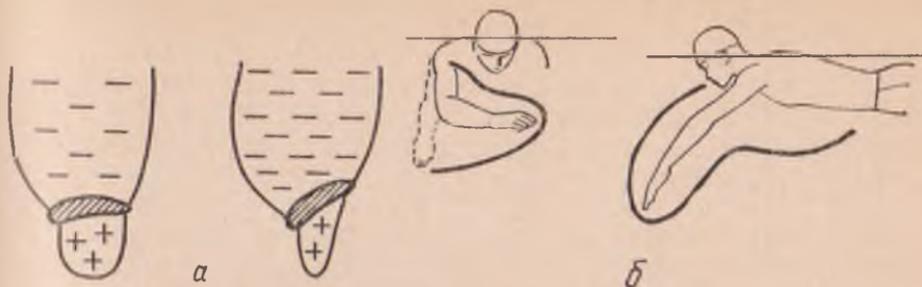


Рис. 79. Ориентация и траектория кисти при гребке: *а* — гребок под углами 90 и 45° к потоку (по Н. П. Гарбузу); *б* — изогнутые траектории (по Д. Каунсилмену)

ко измерения показали, что поворот кисти внутрь до угла в 45° хотя и уменьшает площадь поперечного сечения, но силу давления увеличивает. Оказалось, что причина увеличения давления в резком расширении области пониженного давления сзади гребущего звена (рис. 79, *а*).

49.2. Траектории звеньев и распределение усилий

Выбор траекторий звеньев определяется задачей создания наибольших реакций воды с приложением наибольших мышечных усилий в моменты их наибольшей эффективности.

Некоторые отклонения траекторий от передне-задней вертикальной плоскости, т. е. в стороны (рис. 79, *б*), более выгодны, чем строго плоское движение.

По ходу гребка наблюдается неравномерность распределения усилий. Это зависит от поочередного включения в работу мышечных групп и меняющихся условий активности каждой из мышц, а также от изменения гидродинамических условий. Нецелесообразно приложение больших усилий на тех отрезках траектории, где они мало помогают продвижению вперед. Чтобы узнать, на каких участках траекторий возникают наибольшие «продвигающие» реакции, надо делать точные измерения. Если измерять давление только в зоне его повышения и не получать данных о зоне разрежения, т. е. о разности давлений, можно получить неверный результат.

50. Механизм гребковых движений

Целесообразно выбирая величину и ориентацию гребковых поверхностей, рациональные траектории работающих звеньев и оптимальное распределение мышечных усилий, в каждом способе плавания строят форму и характер гребковых движений, их ритм и темп.

50.1. Гребковые движения руками

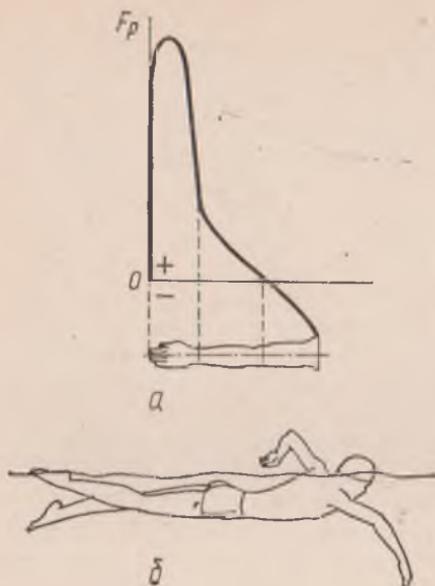


Рис. 80. Гребковые движения руками: *a* — эффективность гребущих поверхностей (по Н. А. Бутовичу и В. И. Чудовскому); *б* — высокое положение локтя (по Д. Каунсилмену)

(винтовые движения). Кисть гребущей руки при косом направлении гребка нередко повернута относительно потока (угол α так отличен от 90°), что увеличивает тяговую составляющую полной реакции воды. Вместе с тем удлинение пути гребка (звено перемещается не кратчайшим путем) увеличивает его продолжительность. В результате возрастает импульс тяговой силы.

Ритм движений руками складывается из соотношений времени движения руки по воздуху и времени гребка, из соотношений длительностей фаз движений рукой во время гребка, а также из согласования движений руками при попеременных гребках (кроль). В одновременных гребках (брасс, дельфин) гребковые движения руками выполняются одинаково и в одно и то же время.

За последние годы отмечается увеличение частоты гребковых движений, повышение их темпа. Однако это повышение должно иметь разумный предел. Дело в том, что удлинение траекторий кисти и замедление их продвижения в воде при возросших тяговых силах требуют большей длительности гребкового движения. Излишне высокий темп гребков препятствует использованию этой особенности современного гребка.

Учитывая поверхности звеньев руки и линейные скорости их движения при гребке, установили, что наибольший эффект дает кисть руки (рис. 80, *a*). При некотором сгибании руки в локтевом суставе, а также сгибании и некотором отведении плеча в плечевом суставе создается характерная изогнутая форма руки с более отвесным положением в воде предплечья и кисти (высокое положение локтя) (рис. 80, *б*). Надо полагать, что это положение, увеличивая поперечное сечение кисти и предплечья, способствует усилению гребка.

Гребковые движения руками во всех способах плавания имеют основное направление спереди назад. В большей или меньшей степени траектории кисти направлены и поперечно

10.2. Гребковые движения ногами

В кроле наибольшие тяговые силы возникают в результате гребковых движений стопами. В брассе и дельфине роль голеней и бедер (вследствие большего размаха движений ими), несомненно, выше, чем в кроле. При движениях ногами в кроле, преимущественно в вертикальном направлении, участие их в движениях спереди назад намного меньше, чем в брассе и дельфине.

Для гребковых движений ногами также характерны изогнутые гребущие поверхности и траектории, существенно отличающиеся от плоских.

Ритм движений в основном зависит от соотношений длительностей фаз движений ногами (подготовительных и рабочих, ускоренных и замедленных, акцентированных гребков в кроле и др.). Темп движений ногами существенно связан с темпом движений руками в брассе и дельфине. В кроле же встречаются шестиударный и двухударный варианты (на более длинные дистанции), а также промежуточные варианты.

§ 51. Разбор способов плавания

11.1. Кроль

Для кроля характерны попеременные гребковые движения руками, наслаивающиеся друг на друга и создающие непрерывную тягу. Хотя эта тяга и неодинакова по своей величине в течение цикла, тем не менее изменения внутрициклового скорости существенно меньше, чем в таких способах плавания, как брасс, где гребковые движения перемежаются фазами более пассивного продвижения в воде по инерции (рис. 81). Значительная величина сопротивления воды обуславливает заметное снижение скорости пловца даже при очень кратковременных уменьшениях гребковой тяги.

Гребковые движения руками в кроле выполняются с момента вк л а д ы в а н и я руки в воду до е е в ы н и м а н и я. Сразу после вкладывания руки в воду происходит одновременный гребок обеими руками, так как другая рука вынимается из воды спустя 0,3—0,4 сек. В то время как гребущая рука продолжает гребок (наиболее эффективную его часть), другая рука совершает движение по воздуху. Когда пловец вновь вкладывает ее в воду, завершает гребковое движение первая рука. Таким образом, чередуются периоды одиночной и двойной опоры руками о воду.

Движения ногами в кроле согласованы с движениями руками. Наиболее распространенный вариант — шестиударный кроль (по три попеременных движения почти выпрямленными ногами на один гребок рукой) в последнее время сменяется двухударным. Дело в том, что движения ногами обеспечивают недостаточно высокую скорость продвижения, в связи с чем затраты энергии оказываются малозаконономичными. В двухударном кроле движения ногами решают другую задачу: они способствуют движениям руками, поддерживая необходимое положение тела как относительно поверхности воды, так и в поворотах вокруг продольной оси тела.

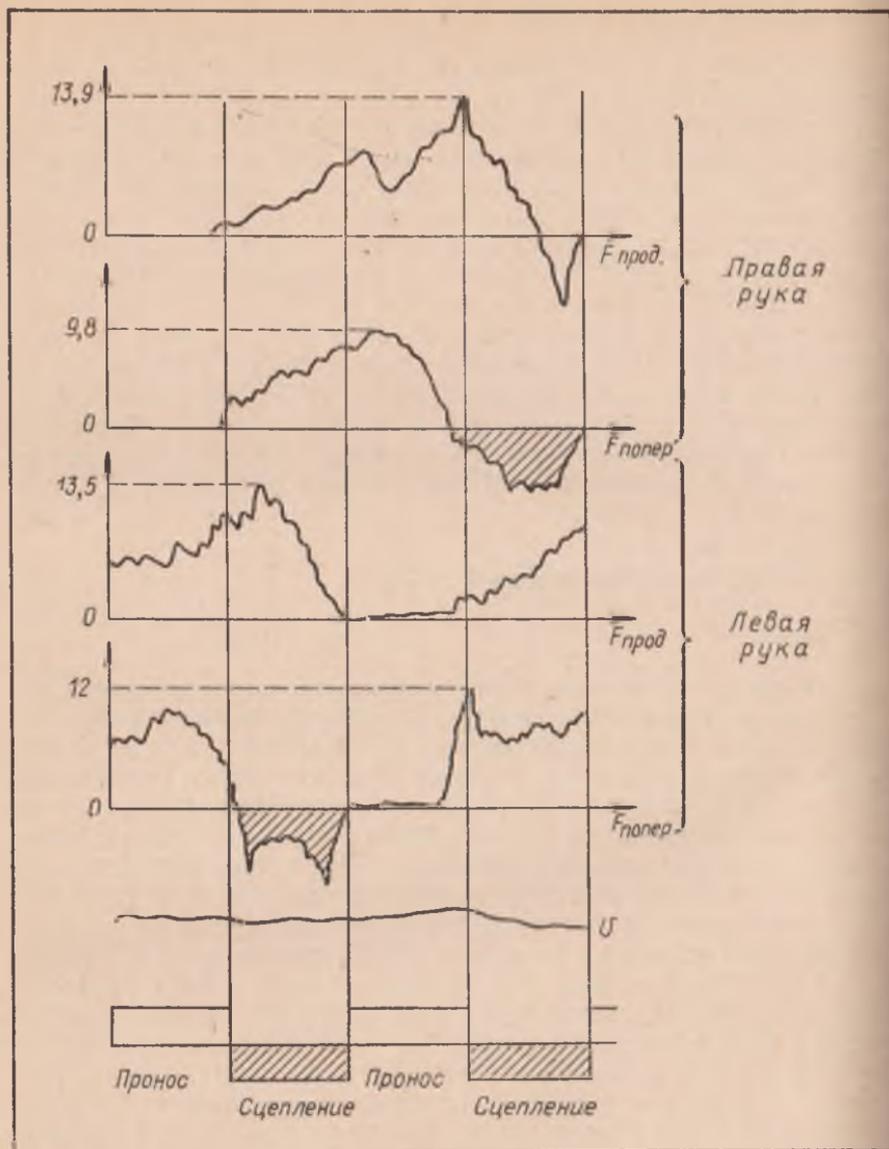


Рис. 81. Усилия при плавании способом кроль на груди (по А. А. Немченко)

Гребковые движения руками выполняются в соответствии с требованиями, описанными выше: высокое положение локтя, изогнутая форма руки, косое расположение гребущей поверхности и «диагональное» направление ее движения. Все это создает условия для увеличения реакции воды.

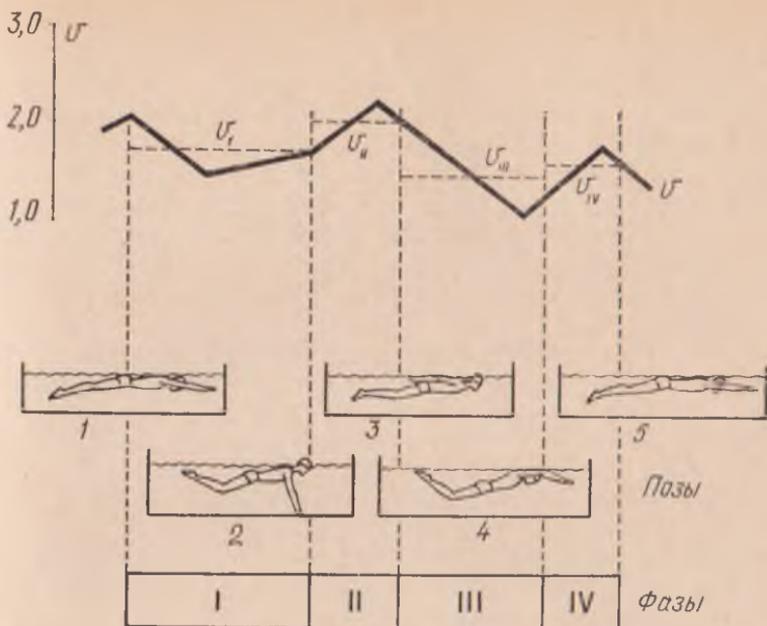


Рис. 82. Скорости при плавании способом дельфин (по Р. Б. Хальянду)

11.2. Дельфин

В способе дельфин в известной мере осуществляется принцип движений туловища и ног, характерный для быстро плавающих рыб, — колебательные движения. Руки же выполняют одновременные гребковые движения с наибольшей амплитудой.

Первая фаза цикла движений начинается с энергичного движения обеими руками вниз; ноги, сгибаясь в тазобедренных и коленных суставах, движутся стопами вверх (рис. 82).

Вторая фаза характеризуется завершением гребковых движений руками и разгибанием ног в коленных суставах, что обуславливает отталкивание от воды. В этой фазе достигается наиболее высокая скорость тела во всем цикле движений.

В третьей фазе пловец стремительно пронесит обе руки над водой вперед. В это время ноги совершают второе подготовительное движение, сгибаясь в коленях. В этой фазе наблюдается самая низкая скорость во всем цикле, так как руки в гребке не участвуют, а ноги даже несколько тормозят движение вперед.

Четвертая фаза цикла характеризуется нарастанием скорости пловца благодаря удару ногами. Руки начинают активный гребок лишь в самом конце этой фазы. Пульсирующий характер скорости здесь более выражен, чем в кроле, где гребок одной рукой наслаивается на гребок другой.

* * *

*

В плавании особое значение имеет сохранение высокой скорости продвижения с возможно меньшими перепадами скорости пловца в течение цикла движений. Значительные «пики» на кривой скорости приводят к резкому повышению сопротивления воды.

Соотношение сопротивления воды при гребковых движениях и при продвижении тела определяет эффективность плавания. Уменьшение сопротивления при продвижении и увеличение сопротивления воды при гребках являются важнейшими задачами рациональной техники.

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.

В плавании немаловажную роль играет сочетание вдоха и выдоха с движениями пловца. Совершенствование быстроты и глубины дыхательных движений возможно только при постоянном согласовании их с движениями пловца.

С точки зрения биодинамики спортивные игры характеризуются сообщением определенной скорости и направления мячу (шайбе) из положений на месте и при собственном передвижении игрока. Разнообразие особенностей видов спортивных игр, а в пределах данной игры и технических приемов, чрезвычайно велико. Выбор технического приема (в пределах, допускаемых правилами соревнования) позволяет игроку использовать свои возможности в сложившейся ситуации. Придание скорости мячу (шайбе) выполняется двумя способами: броском (с более или менее длительными ускорениями снаряда) и ударом (кратчайшим ударным взаимодействием). Таким образом, используются динамические взаимодействия типа броска и удара.

ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВНЕШНИХ ТЕЛ

Задача воздействия на мяч (шайбу) заключается в передаче ему движения. Эту передачу можно исследовать в форме либо количества движения (результата сообщения импульса силы), либо кинетической энергии (результата работы силы). Если мячу придается еще и вращение, то в принципе следует учесть и кинетический момент либо кинетическую энергию вращательного движения. Правда, эти «вклады» передаваемого движения сравнительно невелики. Для одного и того же тела (мяч) передаваемое движение проявляется в изменении скорости, поэтому здесь будут рассмотрены способы изменения скорости внешнего тела посредством разгона или удара.

§ 52. Нарращивание скорости

12.1. Суммирование движений

Скорость, необходимая концевому звену кинематической цепи (кость, стопа), достигается посредством приложения согласованных усилий на пути ускорения этого звена.

Ряд последовательных движений в кинематической цепи представляет собой составное движение. В зависимости от двигательной задачи в такое составное движение могут входить движения

многих звеньев тела (удар «всем телом» в теннисе в соответствующих условиях) или же движения почти одних концов звеньев (кистевая передача в баскетболе).

При суммировании движений звеньев необходимо: а) из многих дуг разного и переменного радиуса составить нужную траекторию рабочей точки кисти, стопы; б) обеспечить необходимые ускоряющие усилия, приложенные к звеньям для сообщения им требуемого увеличения скорости; в) сообщить рабочей точке к концу ее траектории скорость требуемой величины и направления.

Величина скорости и точность обычно находятся в противоречивом соотношении. Слишком большая скорость снижает пространственную точность. Необходимость управления этими двумя характеристиками представляет одну из наибольших трудностей управления скоростными точными движениями.

Поскольку движения в суставах выполняются вокруг осей, однонаправленные движения в суставах цепи дают сложение угловых скоростей. При разнонаправленных движениях скорость конечного звена снижается. Согласование угловых скоростей звеньев обеспечивает заданную траекторию и заданные скорости на участках этой траектории.

52.2. Последовательность работы мышц

В случаях метаний снарядов на дальность мышцы работают в такой последовательности: сначала напрягаются более сильные мышцы при медленных движениях крупных звеньев, далее с ростом скорости звеньев в цепи напрягаются менее сильные мышцы менее массивных звеньев, к концу — мышцы концевых звеньев. Происходит наращивание скорости с уменьшением ускоряющих сил и, следовательно, ускорений. Наблюдается обгон звеньев, при котором благодаря смещению одних звеньев растягиваются мышцы, обслуживающие движения следующих звеньев. При деформации мышц в них развиваются упругие силы, благодаря чему увеличивается их напряжение.

Однако в спортивных играх, где важна не только точность траектории и скорость мяча, но и быстрота действия, а также тактическая маскировка его, нередко действие выполняется скрытно, только концевыми звеньями, за очень короткое время.

Наибольший эффект при скоростных движениях дают мышцы, сокращающиеся из предварительно растянутого состояния.

Для предварительного растягивания применяются подготовительные движения в форме замаха, а также обгон звеньев. В последнем случае все движения направлены в сторону требуемой скорости, в то время как замах имеет характер предварительного возвратного движения.

В тех случаях, когда требуется максимальная скорость (например, в легкоатлетических метаниях), сначала осуществляется предварительный разгон спортсмена со снарядом и в заключение, когда сокращаются предельно растянутые мышцы, — финальный разгон снаряда.

§ 53. Способы передачи движения снаряду

Передачу движения осуществляют сообщением снаряду скорости на пути его плавного ускорения (броски) или кратковременным взаимодействием (удары).

53.1. Механизм броска

При броске возможны движения с предварительным замахом и без замаха.

При предварительном замахе возможны движения либо только бросающей рукой, либо целостные движения всем телом. Последние наблюдаются, когда есть необходимость в большой начальной скорости полета мяча и тактическая ситуация позволяет выполнить такую более длительную подготовку.

При отсутствии необходимости и возможности подготовительного движения всем телом **з а м а х** может быть выполнен одной бросающей рукой. В таких случаях иногда к скорости бросающей руки добавляется скорость бега (например, в баскетболе).

Когда приходится обходиться без предварительного разгона и без замаха, бросок выполняется из наиболее **р а ц и о н а л ь н о г о** исходного положения. В этом положении мышцы, которые будут сокращаться при броске, заранее растянуты. Если это исходное положение принято без быстрого растягивания мышц, то напряжение их будет меньше. Кроме того, принимая исходное положение тягой мышц, которые будут антагонистами во время броска, трудно сразу их полностью расслабить, чтобы они не мешали броску. Тем не менее такие броски без разгона и без замаха, коротким сильным движением рукой (руками) дают преимущество в скорости выполнения и маскировке технических приемов.

53.2. Ударное взаимодействие

Ударное взаимодействие (удар по мячу или шайбе) представляет собой передачу значительной скорости за очень малый промежуток времени контакта.

Удар может быть выполнен рукой, ногой в обуви или специальным инвентарем (клюшка, ракетка). Во всех случаях скорость бьющего звена передается объекту (мячу или шайбе). Поскольку время ударного взаимодействия очень мало, для создания доста-

точного импульса силы (ударный импульс) необходима большая ударная сила.

В первой фазе удара происходит деформация объекта и бьющего звена (например, струнной поверхности теннисной ракетки). Деформация продолжается до тех пор, пока относительная скорость бьющего звена и объекта не станет равна нулю. К этому моменту вследствие упругой деформации возникнут наибольшие упругие силы.

Далее наступает вторая фаза — восстановление формы благодаря действию упругих сил. Происходит упругая отдача, обуславливающая начальную скорость мяча после удара. От начальной скорости зависит траектория мяча в полете в соответствии с законом движения тела, брошенного под углом к горизонту.

В зависимости от упругих свойств соударяющихся тел различают следующие виды удара:

а) **вполне упругий удар**, без потери энергии, когда относительные скорости до и после удара одинаковы; таких случаев в природе нет, всегда происходит потеря энергии;

б) **неупругий удар**, с полной потерей энергии, когда после деформации нет второй фазы ударного взаимодействия — восстановления формы; таких ударов в спортивных играх нет;

в) **не вполне упругий удар**, когда часть энергии рассеивается, начальная скорость полета меньше скорости к моменту соударения; здесь потери скорости зависят от упругости соударяющихся тел.

Как пример влияния упругих свойств на изменение скорости можно взять ряд ударов по мячу, накачанному воздухом в большей или меньшей степени. У «недокачанного» мяча упругость меньше, и от одинакового удара он полетит ближе, чем в случае достаточной его упругости.

Различают **прямой удар** (рис. 83, а, б), когда линия скорости соударяющихся тел до и после удара совпадает, **косой удар** — угол соприкосновения между направлением снаряда и поверхностью больше угла отскока (рис. 83, в). В этом случае мяч получает вращение вокруг своего центра тяжести.

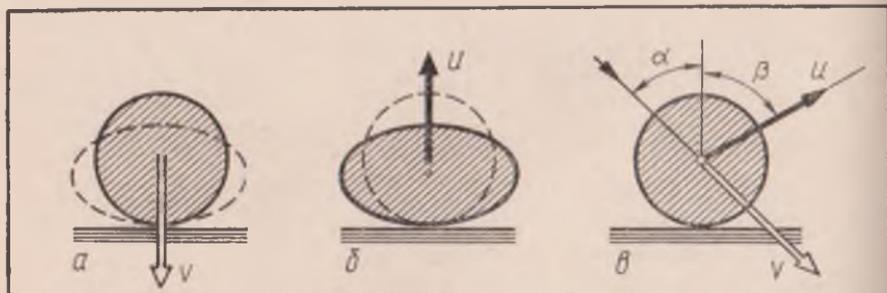


Рис. 83. Удары: а, б — прямой (а — деформация, б — восстановление формы); в — косой (α — угол падения, β — угол отскока, v — скорость до удара, U — скорость после удара)

БРОСКИ И УДАРЫ

§ 54. Метательные движения

Во всех метательных движениях в спортивных играх имеются общие основы, которые отражают требования к выполнению этого приема. Вместе с тем в зависимости от игровых условий и тактической задачи применяется тот или иной из многочисленных вариантов. В каждом варианте так или иначе реализуются и общие основы биодинамики метательных движений, и специфика биодинамики каждого вида броска.

54.1. Общие основы бросков

В зависимости от задачи (передача, бросок в корзину или воротам) в разной степени обеспечивается точность движений посредством согласованных движений в суставах с завершающим движением кисти.

Броски при передачах адресованы партнеру, который либо передвигается, либо стоит на месте. В последнем случае партнер может ловить не совсем точно посланный мяч, не сходя с места или передвигаясь. Так как во всех случаях место, куда должна совершаться передача, не является строго фиксированным, требования к точности несколько снижены. Они повышены в бросках в корзину (или по воротам), так как зона попадания существенно ограничена.

Точность передачи или броска обеспечивается согласованием движений во многих суставах тела игрока. Часто в этих действиях принимают участие также ноги и туловище. Движения же в плечевых и локтевых суставах обязательны в большей или меньшей степени. Даже в скрытых кистевых передачах наблюдаются движения плеча и предплечья, правда, в очень ограниченных пределах.

Если движения крупных звеньев задают общее направление метательному движению, то окончательное направление придают завершающие движения кисти (или кистей). Именно последнее звено биокинематической цепи непосредственно придает начальную скорость мячу в его поступательном и вращательном движении.

В полете мяча решающую роль играют его траектория и скорость, которые определяются направлением и величиной начальной скорости его вылета, а также наличием вращения (угловой скорости). В этом смысле движения кисти исправляют все неточности и завершают все движения остальных частей тела.

54.2. Виды метательных движений

Метательные движения различаются по задаче, исходному положению и способу выполнения.

Задачи передачи или броска в корзину (по воротам) различаются требованиями к точности и скорости движений в зависимости от игровой ситуации. Многообразие ситуаций обуслов-

ливаает собой множество вариантов их выполнения, из которых игроку необходимо выбрать и провести прием, наиболее соответствующий сложившейся ситуации.

Исходные положения могут быть приняты с места и в движении (в беге, в прыжке и т. д.). В сложных ситуациях возможна относительная независимость движений рук от движений ног. Однако в основе, если нет непреодолимых препятствий в этом отношении, существуют наиболее целесообразные согласования движений рук с движениями ног. Исходные положения могут обеспечивать передачу сверху, от плеча, от груди, снизу и сбоку. От плеча, сбоку и над головой обычно выполняются передачи одной рукой; от груди — двумя руками. Остальные приемы, как правило, можно выполнять и одной, и двумя руками.

При бросках по корзине существуют также варианты (одной и двумя руками из разных исходных положений: от груди, сверху, снизу, от плеча, над головой и сверху вниз).

Во всех вариантах метательных движений можно выделить три фазы: 1) фаза принятия исходного положения более отчетливо выделяется при бросках с места; в бросках в движении само исходное положение может быть не так четко зафиксировано; 2) фаза предварительных действий, в течение которой выполняются движения ногами и туловищем, а также плечом и предплечьем, подводящие к заключительному движению кисти; 3) фаза заключительного движения, на протяжении которой движения выполняются в лучезапястном суставе и в суставах кисти, которые окончательно определяют линейную и угловую начальную скорость полета мяча.

Из этих трех фаз наиболее выражена заключительная, для которой характерна наибольшая точность движений. Фаза предварительных действий, наоборот, отличается большой изменчивостью движений, что позволяет получить хорошую точность завершения броска независимо, например, от вызванных ситуацией тактических вариантов обыгрывания противника.

§ 55. Ударные действия

Ударные действия в спортивных играх (волейбол, футбол, хоккей, теннис) очень разнообразны, так как выполняются рукой, ногой, клюшкой, ракеткой. В основе их лежит наращивание скорости бьющего звена (тела человека, клюшки, ракетки) и передача движения мячу (шайбе) ударом.

55.1. Фазы ударного действия

Для ударного действия характерны фазы подготовительных и ударных движений, ударного взаимодействия и послеударных движений.

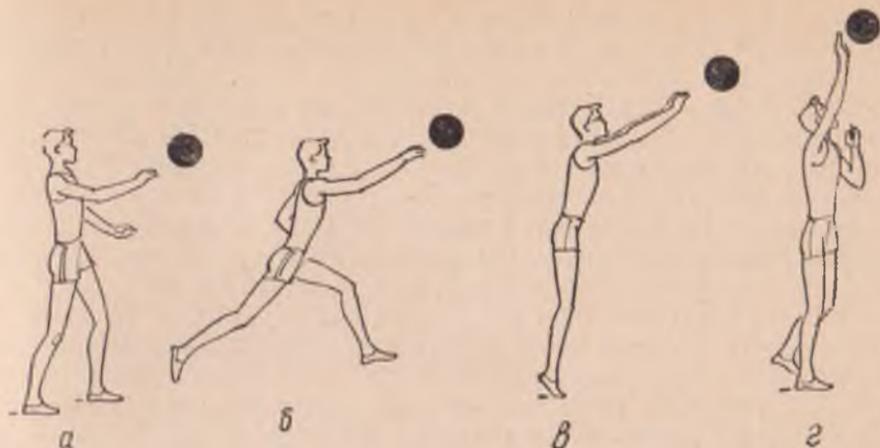


Рис. 84. Метательные движения в баскетболе и ручном мяче: а — передача с места; б — передача в движении; в — бросок двумя руками сверху; г — бросок одной рукой сверху; д — бросок по воротам

Для передачи движения мячу или шайбе необходимо придать бьющему звену требуемую скорость. Поскольку удары вследствие различий в задаче выполняются с разной силой, не все фазы бывают отчетливо выражены. Так, для относительно неэнергичных движений может не быть фазы подготовительных движений, они обычно просто не нужны. Однако их может не быть и потому, что игровая ситуация требует выполнения ударного движения без малейшей затраты времени на его подготовку.

Фаза подготовительных движений представляет собой чаще всего замах — движение в сторону, противоположную направлению будущего удара. Нередко это движение вместе с последующим ударным движением дает криволинейную траекторию рабочей точки — «петлю». Это движение целесообразно потому, что мышцы включаются поочередно, сменяя уступающую работу на преодолевающую, без остановки в крайней точке,

без потери времени на торможение и разгон звена. В течение подготовительного движения растягиваются мышцы, которые будут выполнять ударное движение, создается запас пути, на котором будет наращиваться скорость (см. рис. 85 на стр. 199).

Фаза ударных движений длится от конца подготовительных движений до соприкосновения бьющего звена с мячом (или шайбой). Здесь решаются две задачи: наращивание скорости до оптимальной для достижения требуемого эффекта и выбор направления скорости для решения тактического замысла. Выше уже указывалось, что максимальная скорость может привести к снижению точности. В обеих этих фазах часто решается еще одна задача: выйти на место, в котором лучше всего выполнить удар, если он осуществляется по объекту, находящемуся в движении.

Весь динамический эффект удара проявляется в фазе удара того взаимодействия за время упругой деформации и восстановления формы соударяемых тел. В течение этой фазы наблюдается значительное напряжение всех мышц бьющей биокинематической цепи. Это предупреждает амортизацию в суставах и увеличивает массу звеньев, передающих движение. Напряжение всех названных мышц наблюдается еще до начала этой фазы, в последние сотые доли секунды предыдущей фазы. Это напряжение несколько снижает скорость ударного движения, но, по-видимому, механизм «отвердения» бьющей конечности так существен, что без него удар невозможен. Полагают, что этот механизм имеет еще и профилактическое значение, укрепляя в момент удара суставы и предупреждая травмы.

Послеударные движения выполняются обычно по инерции, с торможением мышцами-антагонистами. Во многих случаях их следует выполнять быстро, чтобы успеть подготовиться к следующему действию в продолжающейся в быстром темпе игре.

55.2. Виды ударных действий

Ударные действия выполняются как в начале соответствующего периода времени в игре (подачи), так и в ходе игры (передачи), а также в завершении игрового эпизода (нападающий или завершающий удар).

Подачи выполняются в волейболе и в теннисе при отсутствии помех со стороны противника. Они имеют очень важное значение, так как могут сразу дать прибавку в счете. В связи с этим внимательно отбираются и очень тщательно отрабатываются оптимальные варианты, в которых обычно отчетливо проявляются индивидуальные особенности спортсменов, имеет место приспособление системы движений к морфофункциональным особенностям человека.

Передачи характеризуются выполнением в усложненных условиях приема мяча и направления его одним ударным действием (волейбол) либо с предварительной остановкой и обработкой (футбол, хоккей). Здесь существенно, с какой скоростью и в каком направлении движется мяч (или шайба), насколько успевает к месту удара спортсмен и как он подготовился к выполнению передачи, а также направление, скорость и расстояние передачи (чаще всего

партнеру, находящемуся в движении). В передачах чрезвычайно вариативны условия их выполнения и стоящиеся задачи. Тем не менее завершающая часть фазы ударного движения и само ударное взаимодействие отрабатываются до уровня высокой стабильности.

Н а п а д а ю щ и й у д а р либо выполняется по воротам противника (футбол, хоккей), либо направляется на поле противника (волейбол, теннис). Не говоря уже о точности попадания в намеченный пункт, удар, как правило, необходимо выполнить быстро, чтобы противник не смог провести эффективный защитный прием.

§ 56. Разбор бросков мяча

56.1. Броски мяча в баскетболе

Как по тактическим задачам, так и по биодинамическим особенностям передачи мяча существенно отличаются от бросков в корзину.

Передачи мяча выполняются из различных положений (сверху, от груди, снизу, сбоку) двумя руками и одной рукой. Следовательно, передачи могут выполняться различными движениями в суставах, различными группами мышц. Кроме того, передачи могут выполняться с места, с места шагом, в прыжке с места, в движении (см. рис. 84, а, б на стр. 197). Таким образом формируется очень большое количество вариантов целостного действия, применяемых в зависимости от условий и конкретной задачи выполнения передачи.

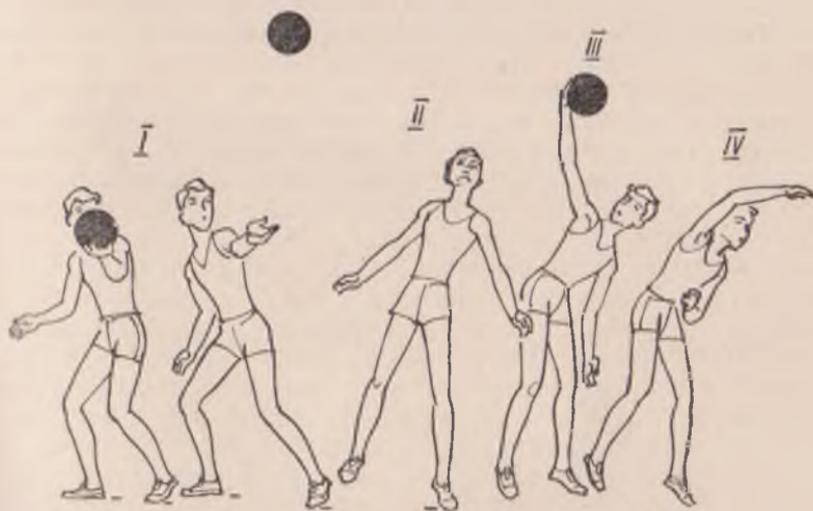


Рис. 85. Фазы ударного действия: I — замах; II — ударное движение; III — ударное взаимодействие (удар); IV — послеударное движение

Требования к точности выполнения передачи не слишком высоки, так как, партнер, во-первых, сам активно ловит мяч, поэтому мяч может быть направлен менее точно, чем, например, в корзину. Во-вторых, партнер, принимающий передачу, может находиться сам в движении, и мяч передается не в то место, где он сейчас находится, а туда, куда он переместится к моменту ловли. В то же время остаются требования достаточно большой начальной скорости мяча, чтобы противник не успел его перехватить.

Поскольку исходные положения рук с мячом различны, то движения в плечевых суставах бывают очень разнообразными. В локтевых суставах почти во всех приемах передачи происходит разгибание. Эта часть движений в передаче более единообразна.

Главную управляющую функцию несут движения кисти в лучезапястных суставах. Именно они завершают движение передачи и окончательно уточняют величину и направление начальной скорости полета мяча. Такое повышение роли концевых звеньев в биомеханических цепях составляет характерное отличие точностных движений. Как известно, по мере накопления отклонений от заданного рисунка движений в соединениях механической кинематической цепи неточность движений концевых звеньев нарастает. В бросковых движениях все (с помощью корректирующих движений) происходит наоборот. Движения в проксимальных сочленениях обладают наибольшим разбросом характеристик, а в дистальных — наименьшим.

Участие движений ног и туловища в передачах мяча может быть различным в зависимости от тактической ситуации. При отсутствии помех наблюдается более заметная согласованность всех движений в единое действие. При помехах и ограничении времени автономность движений руками, их независимость от остальных движений возрастает.

С точки зрения формирования системы движений целесообразнее сначала овладевать именно автономными движениями руками. Тогда, овладев впоследствии более обширными и целостными действиями, легче будет применять и то и другое. Если же начинать с обширных целостных движений, то впоследствии на их фоне труднее будет выделять изолированные, автономные движения руками или даже одними кистями. Кистевые передачи как раз могут быть наиболее быстрыми по выполнению, точными и к тому же скрытыми. Броски в корзину выполняются в игре в завершение атакующих действий и с места при выполнении штрафных бросков. В последнем случае имеется и время, и пространственные возможности для наиболее согласованных движений, представляющих собой управляющее воздействие на мяч. В первую очередь сюда относятся разгибательные движения ног и относительно малозаметные корректирующие движения туловища. Решающими считаются движения руками (или одной рукой) и особенно концевым звеном — кистью (рис. 84, в, г).

При бросках в игре, в передвижении роль взаимно согласованных движений относительно меньше, так как вследствие активных

действий защиты меньше возможностей для выполнения броскового действия с наиболее рациональным использованием исходного положения и всех движений частей тела.

56.2. Броски мяча в игре в ручной мяч

В игре в ручной мяч также различают передачи в игре и броски по воротам (рис. 84, д). По биомеханическим характеристикам различия передач в ручном мяче и баскетболе настолько невелики, что разбирать их нецелесообразно.

Броски по воротам существенно отличаются от бросков по корзине в баскетболе. В последнем случае по большей части (кроме бросков сверху вниз) необходим точный расчет соотношения угла вылета и начальной скорости. Сочетания этих двух показателей — величины и направления начальной скорости — для разных расстояний от щита и высоты выпуска мяча имеют совершенно определенные пределы соотношений. При броске же по воротам необходим, во-первых, выбор направления броска в зависимости от положения и движений вратаря (выполняемых в момент броска и ожидаемых). Во-вторых, в условиях действия защиты и вратаря, как правило, необходима наибольшая возможная начальная скорость полета мяча.

Давно замечено, что дальность броска, а следовательно, и более высокая скорость наблюдаются при бросках не на опоре, а без опоры, в прыжке. Предполагается, что в прыжке создается возможность такого уравнивания движений частей тела, которая в положении на опоре ограничена.

Кроме того, в прыжке часто наблюдается такое положение ног, при котором нижняя половина тела имеет большой момент инерции. Звенья ног отведены далеко от продольной оси тела. Следовательно, создается возможность при быстром сокращении растянутых в замахе мышц выполнить очень быстрое движение бросающей рукой. Нижняя половина тела с большим моментом инерции служит при этом своего рода малоподвижной надежной опорой для быстрого броскового движения.

§ 57. Разбор ударов

57.1. Удары по мячу в волейболе

В волейболе все действия игроков с мячом выполняются посредством ударов. Различаются три группы приемов: подача, передача и нападающие удары. Характер удара имеет также соударение мяча и рук при блокировании и особенно при приеме мяча. Многообразие задач определяет и большое разнообразие ударных действий.

Наиболее стабильное (вследствие отсутствия помех и острого дефицита времени: 5 сек на подачу) ударное действие при подаче. Существуют подачи нижние, боковые и верхние. Одна из наи-

более эффективных — верхняя боковая подача. Она выполняется движением всего тела, начиная от сгибания ног и поворота туловища при замахе и кончая ударом напряженной рукой с поворотом туловища на 90° и выходом к моменту удара в безопорное положение. Путь бьющей руки оказывается наиболее длинным, мышцы, разгибающие руку перед началом ударного движения, наиболее растянуты и напряжены. Движения ног и туловища позволяют поднять начало траектории мяча выше.

Удары при передачах характеризуются наличием фаз амортизации и ускорения мяча. Верхние передачи имеют различия при малых скоростях мяча (вторая передача) и больших (прием подачи или нападающего удара). С увеличением скорости мяча в исходном положении больше согнуты ноги; происходит более значительная амортизация.

При очень больших скоростях полета (более 15—16 м/сек) передача выполняется с падением (перекатом на спину) для лучшей амортизации.

Нападающий удар требует умения высоко прыгать для выполнения удара над сеткой. Перед ударом обычно выполняется разбег с напрыгиванием на опору для высокого прыжка. После отталкивания от опоры во время взлета рука выполняет замах. В нем значительным разгибанием участвует и туловище. Растянутые при замахе мышцы живота, груди и руки, резко сокращаясь, выполняют ударное движение. Кроме прямого нападающего удара, применяют варианты с переводом мяча влево или вправо. Техника ударов с переводами различна, так как для нее характерны обманные движения, дезориентирующие противников, которые ставят блок по ходу ожидаемого прямого удара.

57.2. Удар по мячу в футболе

Удары по мячу в футболе выполняются как передачи и удары по воротам, не считая сложных движений при остановке и ведении мяча. Как и во всех играх, имеется очень короткая фаза ударного взаимодействия, в течение которой мячу придается необходимая скорость.

Всегда в ударном действии более или менее выражена подготовительная фаза — замах, затем фаза ударного движения, фаза ударного взаимодействия, или удар, а также фаза послеударных действий.

В течение ударного движения происходит выбор направления предстоящего полета мяча. Ударное движение (еще до контакта с мячом) выполняется как управляемое движение вращения с учетом траектории и скорости мяча перед ударом (величины, направления), а также в соответствии с задачей удара.

При передачах партнер, как правило, перемещается и мяч передается с расчетом места встречи при их перемещениях. Учитывая большие расстояния, большие скорости и сложность

игровых ситуаций, передачи нередко приходится выполнять с высокой точностью.

Удар по воротам, завершающий атакующие действия, почти всегда выполняется в крайне усложненных условиях движения футболиста, мяча, вратаря и игроков защиты. Это создает пространственные ограничения, острый недостаток времени и необходимость согласования своих движений с движениями мяча и противников. Последние в основном предусмотримы, так как активно направлены на противодействие нападающему.

При выполнении удара к моменту ударного взаимодействия мгновенно напрягаются мышцы, фиксирующие суставы бьющей ноги. Возникает предупредительное торможение мышцами-антагонистами. Это хотя и уменьшает скорость, но зато снижает потери энергии при ударе благодаря большей жесткости биокинематической цепи бьющей ноги. Кроме того, напряжение мышц имеет и охранительное значение, укрепляя суставы и предупреждая травмы суставно-связочного аппарата.

* *
*

Закономерности построения ударного действия в своей основе общи для различных физических упражнений, при которых необходимо придать наибольшую скорость рабочей точке тела. Эта точка может быть локализована, например, на спортивном инвентаре (хоккейная клюшка, теннисная ракетка). Эти же закономерности лежат в основе бросков и метаний.

Для спортивных игр (упражнения *третьей группы*, см. 58.2) характерно сочетание строго и точно отработанных элементов в мгновенно создаваемых переменных действиях (атакующих, защитных и др.). Стабильность техники здесь обеспечивается большой гибкостью, приспособительной изменчивостью относительно стабильных элементов (подсистем).

Задачи физического воспитания решаются в процессе организованного применения физических упражнений. Для успешного построения этого процесса нужно обосновать подбор упражнений и методов соответственно задачам и уровню подготовленности занимающихся, а также сам ход проведения процесса. Биомеханика, изучая движения, со своих позиций дает обоснование программе и самому процессу физического воспитания, и в частности спортивной подготовке.

Для этого, используя методы биомеханики, определяют эффективность движений в физических упражнениях, т. е. насколько данные упражнения соответствуют конкретным требованиям в определенных условиях.

§ 58. Обоснование программы физического воспитания

Применяя методы биомеханического исследования, можно определить степень физической подготовленности занимающихся, а также соответствие физических упражнений задачам физического воспитания, возрасту и подготовленности.

58.1. Оценка уровня физической подготовленности занимающихся

При проведении испытаний с помощью биомеханических характеристик можно получить количественную оценку уровня физической подготовленности занимающихся.

Уровень физического развития и физической подготовленности занимающихся определяется совокупностью их морфологических и функциональных особенностей.

Морфологические особенности в основном изучаются методами антропологии (измерение роста, веса, размеров и пропорций звеньев тела и др.). Однако существенна также и биомеханическая оценка телосложения: определение масс и моментов инерции звеньев, соотношений звеньев как рычагов. В различных возрастных группах имеются характерные особенности, которые следует учитывать (например, изменения размеров в связи с акселерацией развития.)

Далее, необходима биомеханическая оценка состояния опорно-двигательного аппарата: уровня развития силы групп мышц, подвижности звеньев в суставах, быстроты движений и др. Посредством контрольных упражнений можно измерить ряд показателей, которые позволяют оценить степень развития силы, быстроты, выносливости. Количественные биомеханические исследования позволяют определять степень развития отдельных компонентов каждого двигательного качества (например, статическая сила, взрывная сила, силовая выносливость и т. д.). В данном случае постановка задач определения подготовленности и педагогическая оценка результатов, что относится к области теории и методики физического воспитания, получают подкрепление при помощи количественных характеристик, полученных биомеханическими методами.

Так, определение инерционных характеристик и их соотношения с силовыми возможностями служит для обоснования задач разносторонней физической подготовки. Исследования механизма нарушений осанки способствуют конкретизации задач их устранения. Регистрация движений (измерение характеристик) при выполнении контрольных упражнений позволяет количественно оценить уровень и характер выносливости, скоростных и силовых качеств и др.

Это касается в первую очередь оценки совершенства двигательных навыков — рационального способа выполнения физических упражнений. Последнее в еще большей степени нуждается в биомеханическом контроле и технической оценке.

58.2. Определение рационального способа выполнения движений

Рациональный способ выполнения движений обеспечивает решение двигательной задачи при наиболее полном использовании законов движений.

Правильное использование законов при построении системы движений способствует повышению эффективности решения двигательной задачи. В нерациональных способах неправильное применение законов движений обуславливает снижение эффекта¹.

Определение рационального способа движений необходимо для выбора упражнений, наиболее соответствующих конкретным задачам физического воспитания. Определяется, в какой степени использование законов в данных упражнениях помогает эффективно развивать организм. Оценка эффективности проводится по соответствию упражнений поставленным задачам.

¹ Следует подчеркнуть, что любое движение соответствует законам механики: в неправильно построенных движениях законы не нарушаются, а только неправильно используются.

Так, можно выделить три группы упражнений с различными ведущими задачами.

1-я группа — задача выполнения заранее заданной внешней картины движений (гимнастика, фигурное катание на коньках и т. п.). Задача обеспечивается стабилизацией кинематической структуры, согласованием движений в пространстве и времени в соответствии с заданием.

2-я группа — задача достижения максимального результата (легкая атлетика, плавание, лыжный спорт и т. п.). Задача обеспечивается стабилизацией динамической структуры, наиболее рациональным согласованием усилий мышц с другими силами.

3-я группа — задача достижения конечного эффекта при выборе средств (спортивные игры, борьба и др.). Задача обеспечивается целенаправленной вариативностью действий, в которые включаются различные приемы, соответствующие задаче и ситуации (условиям действия).

Такое деление показывает, что в каждой группе имеется своя ведущая задача. Но вместе с тем в каждой группе остальные две задачи, хотя и не ведущие в этом случае, также важны. Например, в 1-й и 2-й группах (стабилизация структур) вариативность (как приспособительная изменчивость) хотя бы к внутренним помехам также нужна. Не случайно в общеобразовательной школе виды спорта из этих трех групп занимают важное место (гимнастика, легкая атлетика, спортивные игры и др.).

Не все задачи равноценны для детей разных возрастных групп. Так, упражнения 1-й группы для дошкольников сложнее, чем упражнения 2-й группы. Ставя задачи, подбирая упражнения при составлении программ для каждой возрастной группы, учитывают требования к упражнениям и их соответствие задачам. Кроме того, оценка выполнения основывается на требованиях к упражнению, которое определяется как рациональное для данного конкретного случая.

§ 59. Обоснование процесса физического воспитания

Процесс физического воспитания, как всякий управляемый процесс, нуждается в постановке задач, применении целесообразных средств и методов, в контроле за его ходом. Все это опирается на оценку качества выполнения упражнений, по которой можно судить о ходе физической подготовки. Повышение качества работы по физическому воспитанию связано с подбором вспомогательных упражнений, которые не только ускоряют процесс, но и повышают его качество. Вместе с тем возможна и необходима биомеханическая оценка эффективности средств и методов, применяемых в конкретных условиях физического воспитания, при постановке определенных задач.

59.1. Оценка качества выполнения двигательных действий

Оценка качества выполнения упражнений опирается на определенные требования к технике, постановку задания и контроль за соответствием выполненного упражнения заданию.

При обучении физическому упражнению необходимо оценивать качество его выполнения. Без оценки качества выполнения невозможно судить о результатах обучения, управлять его ходом. Для того чтобы определить качество, дать оценку, необходим контроль. В свою очередь контроль невозможен, если не было задания, если нельзя сопоставить действительное выполнение с заданием. Таким образом, имеется логическая последовательность: *задание — контроль — оценка*. Постановка задания в свою очередь опирается на установление требований к упражнению, к технике его выполнения. Все эти моменты, приводящие к оценке качества движений, относятся к биомеханике.

Сопоставляя те или иные характеристики движения с его результатом, устанавливаются требования к технике упражнения. Эти требования формулируются для всей системы движений в целом и для ее элементов (фаз и элементарных действий). В ряде спортивных упражнений (особенно из 1-й и 2-й групп) можно установить количественную зависимость (меру корреляции) между характеристиками элементов и общим эффектом системы движений.

Исходя из требований и имеющегося в настоящее время уровня выполнения, педагог ставит конкретное задание перед занимающимися. Контроль над соответствием выполнения упражнения заданию может быть осуществлен с применением количественных биомеханических характеристик. Сопоставление задания и выполнения служит основой для оценки.

Практически при проведении занятий сейчас еще трудно рассчитывать на постоянное применение количественного биомеханического контроля. Преподаватель в большей части случаев использует лишь зрительное наблюдение, секундомер и рулетку. Однако знание и понимание биомеханических закономерностей движений дает возможность осуществлять качественный биомеханический анализ. Суть этого анализа заключается в наблюдении, описательной характеристике движений и их качественной оценке. Не применяя расчетных методов, но зная закономерности, можно давать более углубленную оценку движениям. Понимание механизма движений, наблюдательность и знание законов движений — достаточно серьезная основа для педагогического контроля и оценки качества движений.

59.2. Обоснование подбора вспомогательных упражнений

Понимание системности движений в физических упражнениях позволяет формировать состав системы (элементы) и их структуру (взаимосвязи) как расчлененным, так и целостным методом.

В связи с тем что в практике давно пришли к убеждению в сложности движений, разработано и применяется множество более простых вспомогательных упражнений. С точки зрения биомеханики они служат для постепенного овладения системой движений и ее совершенствования. Как следствие совершенствования педагогического процесса нередко наблюдается ускорение обучения. Однако это следствие улучшения обучения ни в коем случае не следует рассматривать как цель, а тем более самоцель. Главное в совершенствовании обучения — это повышение качества выполнения упражнений, улучшение надежности выполнения, более высокий эффект физического воспитания.

Вспомогательные упражнения принято делить на подготовительные и подводящие. Подготовительные упражнения применяют с целью повышения уровня физической подготовленности, развития двигательных качеств. Общая физическая подготовленность особенно важна для растущего организма. Она обеспечивает гармоническое физическое развитие — основу здоровья и высокой работоспособности. В плане биомеханики — это совершенствование биомеханической системы опорно-двигательного аппарата, формирование этой системы с заранее заданными свойствами. В этом отношении для правильной реализации задачи должны быть выяснены и уточнены требования к характеру специальной физической подготовки (на базе общей). Эту задачу решают путем подбора как общеразвивающих упражнений, дающих разностороннюю подготовку, так и специально подготовительных упражнений, соответствующих специфическим требованиям подготовки (например, метателя или лыжника-гонщика).

При подборе подготовительных упражнений ориентируются на требования к физической подготовленности и на достигнутый уровень у ее занимающихся. Учитывается соотношение базы общей физической подготовки и вырастающей на ее основе специальной.

Подводящие упражнения применяют с целью совершенствования процесса овладения техникой физических упражнений. Возможны два пути овладения сложным действием. Первый — аналитический (расчлененный): вычленяют составные части сложного действия, овладевают этими частями в отдельности, а потом «связывают» из частей целое. Второй — синтетический (целостный): выполняют все действие в целом, не расчленяя его на части; по мере овладения действием уточняют его детали; работают, обращая внимание на элементы в составе всего целого. В настоящее время эти методы не противопоставляются один другому, а рассматриваются как дополняющие друг друга.

Подводящими упражнениями могут служить выделенные составные части целого действия. Иногда выделяют ряд частей, а потом их последовательно соединяют. Так, в гимнастике из изученных элементов составляют их «связки», а затем завершённые комбинации. Можно подобрать упражнения так, чтобы они образовали ряд постепенно усложняющихся действий («лестница навыков»). Этот

ряд приводит к более совершенному выполнению упражнения в целом.

Особое место занимает группа имитационных упражнений. Они содержат характерные особенности основных упражнений, по выполняются в измененных условиях (упражнения для лыжника на роликовых коньках, упражнения для пловца на суше и т. п.). При подборе таких упражнений важно не столько однообразие внешней картины, сколько сходство механизма движений, его динамической структуры. Имитационные упражнения в главном похожи на основные упражнения. Они могут даже вызывать проявление больших усилий, скорости, темпа, чем в основном упражнении. В этом одна из их положительных сторон. Другая сторона заключается в том, что их применяют в условиях, когда неприменимы основные упражнения (без снега, без воды и т. п.). Следует иметь в виду, что в имитационных упражнениях имеется не только сходство с основными, но и существенные различия. Нужно внимательно следить, чтобы эти различия не препятствовали становлению навыка основного упражнения. Эта опасность всегда существует. Биомеханический анализ сходных и различных сторон позволяет обоснованно выбирать как сами имитационные упражнения, так и определять задачи их применения, последовательность и дозировку и др.

Возможен и необходим подбор упражнений, которые способствуют одновременно и физической, и технической подготовке. Это упражнения сопряженного воздействия. Они являются специальными, так как построены с учетом специфики изучаемой техники. В них сочетается сходство усилий и режимов работы с техническим подобием основному упражнению. Такие упражнения находят применение преимущественно в подготовке спортсменов высокой квалификации. Однако подобные задачи могут и должны ставиться и в юношеском спорте, правда, с особым вниманием к общей физической подготовке.

59.3. Установление эффективности процесса физического воспитания

Биомеханические характеристики позволяют оценивать сдвиги в контрольных упражнениях (оценка уровня физических качеств), в осанке и технике физических упражнений при условии учета подбора упражнений и методов их применения.

Эффективность физического воспитания в целом зависит от сложного комплекса факторов, условий организации и т. п. Биомеханические показатели уровня физической и технической подготовленности могут помочь в оценке эффективности процесса в целом. Более целесообразна оценка конкретных факторов, в частности подбора средств и методов применения физических упражнений для решения конкретных частных задач.

При четкой организации наблюдений и исследований можно оценить эффективность подбора упражнений. Вследствие достаточно длительного применения тех или иных упражнений можно сделать заключение об их сравнительном эффекте. Такого рода исследования имеют теоретическое значение, давая обоснование подбору средств соответственно задачам. Вместе с тем практика накапливает огромный опыт педагогической оценки целесообразности применения конкретных упражнений в соответствующих условиях.

Для оценки эффективности методов развития физических качеств наибольшую трудность представляет правильный подбор показателей их уровня совершенства. Не всегда сдвиги в биомеханических характеристиках, показатели контрольных упражнений в полной мере свидетельствуют об уровне тех или иных сторон комплексных физических качеств.

При исправлении нарушений осанки, которые были установлены объективным обследованием, степень эффективности ее исправления более очевидна и достоверна. Следует только помнить, что после исправления нарушений в осанке необходимо систематически поддерживать восстановленную правильную осанку.

Несколько сложнее определить эффективность методов обучения физическим упражнениям и технического совершенствования, формирования двигательных навыков. В значительной мере результат применения средств и методов зависит от мастерства педагога и личной активности ученика. В этом отношении суждение об эффективности методов технической подготовки более затруднено. Оно требует глубокого учета факторов, лежащих уже за пределами биомеханики.

Более ценные результаты получаются в том случае, когда сравнивают не только исходное состояние и конечный результат всего процесса или определенного этапа. Наблюдения за динамикой сдвигов, изменение в соответствии с ними мер воздействия, изучение последующих сдвигов, подкрепленные анализом проведения педагогического процесса, помогают обоснованию более целенаправленного проведения физического воспитания. Биомеханические данные, соответствующий метод их анализа и оценки помогают повышению качества физического воспитания.

§ 60. Обоснование спортивной подготовки

Спортивная подготовка благодаря большой эмоциональности, целенаправленности, высокому уровню физического развития и подготовленности привлекательна для школьников и служит ведущим звеном во всем процессе физического воспитания, особенно юношей и подростков. Именно в школьном возрасте начинается подготовка спортсменов высокой квалификации, резервов советского спорта. С точки зрения биомеханики здесь важны строгая определенность требований к спортивной технике и наиболее целена-

правленный отбор средств и методов физического воспитания. Школьный спорт, питая советское спортивное движение, одновременно обогащается и сам благодаря совершенствованию советской системы подготовки спортсменов.

60.1. Обоснование спортивной техники

Спортивная техника (как способ двигательного действия в спортивной деятельности) направлена на достижение высокого результата. Все элементы системы движений объединены в ней на основе наибольшей целесообразности.

При обосновании спортивной техники для юных спортсменов решаются две задачи. Необходимо разрабатывать наиболее эффективные варианты системы движений, т. е. определять наиболее совершенную технику как предмет обучения. При этом обязательно строго учитывать возрастные особенности физического развития и уровень подготовленности.

В тех видах спорта, в которых в школьном возрасте возможно достижение высших результатов (гимнастика, плавание), образцы требуемой техники и есть современная совершенная техника. В других видах спорта, в которых в школьном возрасте только закладываются основы техники (лыжный спорт, легкая атлетика, спортивные игры), необходимо построение этих основ в соответствии с возрастными возможностями детей и подростков. Однако эти основы должны быть действительно основами последующего высшего технического мастерства, чтобы в дальнейшем их не приходилось разрушать и перестраивать.

И при достижении технического мастерства, и при построении только его основ обязательно строгое соответствие движений как возрастным возможностям, так и требованиям рациональной техники.

Не менее важно обосновать пути овладения совершенной техникой, пути построения систем движений. Здесь также необходимо исходить как из особенностей заданных систем движений (предмета обучения), так и из возрастных особенностей юных спортсменов.

Для овладения многими особенностями техники необходима соответствующая физическая готовность к обучению. В настоящее время это положение общепризнано, однако конкретных результатов научного обоснования этой проблемы практически еще мало. Тем не менее сама постановка вопроса нацеливает преподавателя на необходимость создания базы физической подготовленности (общей и специальной) для овладения обучаемыми техническим мастерством.

Без должного уровня развития силы, быстроты, гибкости невозможно освоение гимнастических упражнений. Для лыжника необходима силовая подготовка — скоростно-силовые качества,

силовая выносливость. В каждом конкретном случае необходимы конкретные требования.

Кроме готовности к обучению, устанавливается последовательность обучения — определение поэтапных задач, подбор наиболее рациональных средств и методов и по мере их реализации контроль за ходом овладения упражнениями.

60.2. Контроль при технической подготовке юных спортсменов

Контроль при технической подготовке обеспечивает обратную связь в системе управления движениями, позволяет совершенствовать техническое мастерство.

Уже при ознакомлении с упражнением закладываются основы технического самоконтроля за правильностью понимания задач, хода овладения движениями, за их эффективностью. Как бы ни были эти задачи сугубо педагогическими, показатели их успеха относятся к качественному и количественному биомеханическому анализу. Именно биомеханические характеристики и данные системно-структурного анализа позволяют оценить выполнение физических упражнений на каждом этапе обучения. Только наличие данных о ходе обучения (обратная связь) позволяет управлять технической подготовкой и преподавателю, и самим занимающимся.

Создавая двигательное представление как «модель потребного будущего», педагог и ученики совместно устанавливают показатели технического самоконтроля. Это могут быть граничные позы, характерные усилия, ритмические соотношения и т. д. Самоконтроль возможен лишь тогда, когда имеется ясное представление о том, что именно требуется.

Самоконтроль обеспечивается при помощи объективного контроля. К последнему относятся как данные, полученные с помощью измерительных устройств (измерители расстояний, времени, усилий и т. п.), так и данные педагогического контроля со стороны преподавателя и самих обучающихся.

Данные педагогических наблюдений имеют отпечаток субъективности, поскольку зависят от опыта, знаний и способностей проводящего контроль. Однако в большей или меньшей степени они отражают действительность и поэтому должны расцениваться как данные объективного контроля. Основные знания биомеханики дают возможность правильно сосредоточить внимание на ведущих характеристиках и суметь оценить их значение.

Задачи контроля заключаются не только в помощи при совершенствовании системы движений и ее структуры путем исправления ошибок. Объективный контроль как способ развития самоконтроля содействует развитию сознательности и активности занимающихся, что имеет большое общественное значение. Именно раскрытие биомеханических закономерностей движений обеспечивает целенаправленность внимания, осознание процесса

обучения и активные волевые усилия, направленные на преодоление трудностей.

Объективный контроль может быть периодическим, проводимым в определенные сроки при проверке результатов какого-либо этапа обучения (например, даже одного занятия). Он может быть и оперативным, проводимым в течение определенного периода занятий. Естественно, что организовать постоянный оперативный контроль над каждым занимающимся невозможно. Тут имеет свои преимущества самоконтроль. Он не только может, но и должен быть всегда оперативным, т. е. в каждый момент занятий. Ни одного упражнения не следует выполнять без конкретного задания, контроля за его выполнением и, следовательно, оценки качества. Для того чтобы каждый занимающийся смог это осуществить, необходимы знания биомеханики физических упражнений.

В результате создания чувственного «образа движений» и углубления знаний о технике физического упражнения у ученика формируется чувственно-логическая модель системы движений (В. К. Филиппов). Ее чувственная основа помогает в подражательной активности, характерной для растущего организма. Ее содержательная сторона обеспечивает активное творчество ученика, развивает его аналитические способности, повышает его активность. Обе составные части модели системы движений (соединенные неразрывно) опираются на разностороннее и глубокое понимание биодинамики физических упражнений. Ведущая роль при построении таких моделей у учеников должна принадлежать учителю, глубоко разбирающемуся в сложности физических упражнений.

Физическое воспитание способствует не только развитию физических возможностей учеников, но и обуславливает их умственное развитие и формирование характера. Воля, наблюдательность, память, уверенность в себе и многие другие стороны психики совершенствуются в познавательной активности и в двигательной деятельности — в чрезвычайно важном процессе формирования личности будущего строителя коммунистического общества.

Характеристики движений человека

(физические величины, их обозначения и формулы,
единицы измерения и формулы размерности)

| Характеристика | Механическая величина | Обозначение и формула | Единица измерения (в СИ) | Формула размерности |
|----------------------------------|-----------------------|--|--------------------------|---------------------|
| Координата линейная | Длина | $s_x = oA_x; s_y = oA_y;$ $s_z = oA_z$ | м | L |
| Координата угловая | Угол | $\varphi = \frac{s}{r}$ | рад | L^0 |
| Перемещение линейное | Длина | $\Delta s = s_t - s_0$ | м | L |
| Перемещение угловое ¹ | Угол | $\Delta \varphi = \varphi_t - \varphi_0$ | рад | L^0 |
| Длина траектории | Длина | $l = \sum ds$ | м | L |
| Кривизна траектории | — | $k = \frac{1}{R}$ | — | L^{-1} |
| Момент времени | Время | t | сек | T |
| Длительность движения | Время | $\Delta t = t_1 - t_0$ | сек | T |
| Темп движений | Частота | $N = \frac{1}{\Delta t}$ | 1/сек | T^{-1} |
| Ритм движений | — | $R = \Delta t_{2-1}; \Delta t_{3-2}$ | — | T^0 |
| Скорость точки | Скорость | $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ | м/сек | LT^{-1} |
| Скорость угловая ¹ | Скорость угловая | $\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{v}{r}$ | рад/сек | $L^0 T^{-1}$ |
| Ускорение линейное | Ускорение | $a = \frac{F}{m}$ | м/сек ² | LT^{-2} |
| Ускорение нормальное | Ускорение | $a_n = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$ | м/сек ² | LT^{-2} |
| Ускорение тангенциальное | Ускорение | $a_\tau = \frac{\Delta v}{\Delta t} = r\varepsilon$ | м/сек ² | LT^{-2} |
| Ускорение угловое ¹ | Угловое ускорение | $\varepsilon = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{a}{r}$ | рад/сек ² | $L^0 T^{-2}$ |

¹ Вращающегося тела.

| | | | | |
|----------------------|----------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------|
| Масса | Масса | $m = \frac{F}{a}$ | кг | M |
| Момент инерции тела | Момент инерции тела | $I = \sum m_i r_i^2$ | кг · м ² | ML ² |
| Радиус инерции | Радиус инерции | $R_{ин} = \sqrt{\frac{I}{m}}$ | м | L |
| Сила | Сила | $F = ma$ | НЬЮТОН(Н) кг · м/сек ² | LMT ⁻² |
| Сила центробежная | Сила | $F = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2$ | н | LMT ⁻² |
| Сила инерции | Сила | $F = -ma$ | н | LMT ⁻² |
| Сила тяготения | Сила | $F_{тяг} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$ | н | LMT ⁻² |
| Сила тяжести | Сила | $G = F_{тяг} + F_{ин}$ | н | LMT ⁻² |
| Сила сопротивления | Сила | $R_x = SC_x \rho v^2$ | н | LMT ⁻² |
| Сила трения | Сила | $T = KN$ | н | LMT ⁻² |
| Момент силы полярный | Момент силы | $M_c(F) = Fd$ | НЬЮТОН · метр (н · м) | L ² MT ⁻² |
| Момент силы осевой | Импульс силы | $M_z(F) = F_T d$ | н · м | L ² MT ⁻² |
| Импульс силы | Импульс силы | $S = Ft$ | НЬЮТОН · секунда (н · сек) | LMT ⁻¹ |
| Импульс момента силы | Импульс момента силы | $S_z = M_z(F) t$ | НЬЮТОН · метр · секунда (н · м · сек) | L ² MT ⁻¹ |
| Работа силы | Работа силы | $A = Fs$ | ДЖОУЛЬ (дж)(н · м) | L ² MT ⁻² |

| | | | | |
|--|----------------------|-------------------------------|------------------------|--------------|
| Работа момента силы | Работа момента силы | $A_z = M_z(F)\varphi$ | дж | L^2MT^{-2} |
| Количество движения | Количество движения | $K = mv$ | кг·м/сек | LMT^{-1} |
| Кинетический момент | Кинетический момент | $K_z = I\omega$ | кг·м ² /сек | L^2MT^{-1} |
| Кинетическая энергия в поступательном движении | Кинетическая энергия | $E^k = \frac{mv^2}{2}$ | дж | L^2MT^{-2} |
| Кинетическая энергия тела во вращательном движении | Кинетическая энергия | $E_z^k = \frac{I\omega^2}{2}$ | дж | L^2MT^{-2} |

Приложение 2

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа № 1. Построение промера способом проекции.

Основные задачи:

1. Научиться готовить материалы для зарисовки промера.
2. Научиться зарисовывать промер.

Пояснения:

1. Промер — это зарисовка опознавательных точек (пунктов отсчета) или схематическое изображение поз (с контурами тела или без них) на одном листе бумаги в установленном масштабе в виде, пригодном для измерений (рис. 86)¹.

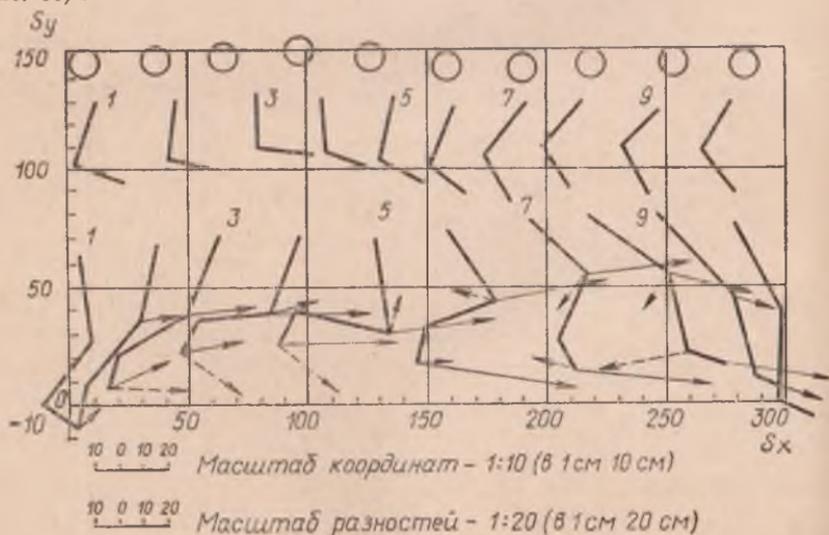


Рис. 86. Промер бега

¹ Прорисовка пунктов и линий отсчета на фотоотпечатке тоже промер.

Промер позволяет количественно определить расположение точек тела (пунктов отсчета) в пространстве в каждой позе и изменение их положений через одинаковые интервалы времени (при киносъемке). На листе промера, кроме положений точек, изображается линейный и записывается численный масштаб, а также пространственные ориентиры (горизонталь или вертикаль).

2. **М а с ш т а б** промера показывает уменьшения действительных координат (натуральных размеров) при изображении их на промере. *Численный масштаб* — простая дробь, числитель которой — единица, а знаменатель — степень уменьшения. *Линейный масштаб* — это графическое изображение степени уменьшения в линейных единицах. На прямой линии откладываются ряд отрезков одинаковой длины (основание линейного масштаба); на миллиметровой бумаге за основание линейного масштаба удобно принять 1 см. Число сантиметров в натуре, соответствующее основанию масштаба, называется величиной линейного масштаба. Так, при масштабе 1 : 10 записывается: в 1 см 10 см.

3. **В ы б о р** м а с ш т а б а промера зависит от конкретных материалов и задач исследования. При большом поле съемки приходится брать масштаб 1 : 20; более мелкий масштаб (например, 1 : 40) совершенно непригоден для измерений из-за больших погрешностей. Для расчетов удобен масштаб 1 : 10, но для большей точности желательно выбрать масштаб 1 : 5 или 1 : 3.

З а д а н и я :

1. **У с т а н о в и т ь** масштаб промера. Просмотрев киноленту, найти исходное и конечное положения частей тела в изучаемом движении. Рассчитать величину перемещения в натуре (по разметке поля съемки или масштабным рейкам). Выбрать масштаб с учетом перемещений и размеров промера. Заготовив лист бумаги, зарисовать на нем линейный масштаб. Положить на стол увеличителя лист бумаги для зарисовки промера, вправить пленку и установить увеличение, соответствующее масштабу.

2. **О т м е т и т ь** на промере его ориентиры. Нанести на промер не менее двух неподвижных точек для совмещения их при проекции последующих кадров. Прорисовать ориентирную линию (горизонталь или вертикаль). В случае выхода ориентиров из последующих кадров наметить переходные ориентиры.

3. **З а р и с о в а т ь** промер. Передвигая кадр за кадром с совмещением ориентирных точек, проставлять на промере все пункты отсчета для каждой позы. При малом перемещении точек от кадра к кадру можно зарисовать весь промер через два межкадровых интервала (кадры 1, 3, 5 и т. д.). Около каждой позы поставить действительные порядковые номера кадров. При схематическом изображении поз точки пунктов отсчета каждой позы соединять после зарисовки очередного кадра, учитывая расположение звеньев тела.

Лабораторная работа № 2. Считывание координат и построение по ним промера¹.

О с н о в н ы е з а д а ч и :

1. Научиться строить таблицу координат.
2. Научиться считывать координаты точек каждой позы (на каждом кадре кинограммы).
3. Научиться строить сетку координат для промера.
4. Научиться по координатам находить положение точек тела и схематически вычерчивать позы человека.

П о я с н е н и я :

1. **Т а б л и ц а** координат (табл. 3) служит для последующего расчета скоростей и ускорений, поэтому ее надо строить точно и единообразно

¹ Определение координат и построение общего промера целесообразнее в тех случаях, когда невозможно применить способ проекции.

но. Число горизонтальных строчек таблицы должно быть равно количеству поз на промере, а число вертикальных колонок — удвоенному числу пунктов отсчета (для координат по осям абсцисс и ординат). Следует добавить две колонки для номеров поз (по обеим осям).

2. Для считывания координат удобно провести на каждом снимке горизонтальные и вертикальные ориентирные линии (через точку начала отсчета и затем через каждые 5 см). Можно использовать линейку и угольник¹.

3. Промер строят по координатам каждой точки относительно избранного начала координат, считанным на каждом кадре или снимке. Координаты сначала считываются по каждому снимку и записываются в таблицу координат.

В обоих способах построения промера (проекцией и по координатам) всегда предварительно выбирают масштаб изображения.

З а д а н и я :

1. Начертить таблицу координат, руководствуясь изложенными выше пояснениями.

2. Считать координаты всех пунктов отсчета промера и занести их в таблицу координат.

3. Построить сетку координат. Определить по таблице координат наибольшие значения s_x и s_y . По этим данным установить размеры сетки координат. Разметить оси координат через 10 мм и надписать численные значения.

Таблица 3

Таблица координат

| s_x | c | b | a | m | f | s | p | d | s_y | c | b | a | m | f | s | p | d |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 9 | 15 | 6 | 30 | 6 | 10 | -9 | 3 | 1 | 145 | 125 | 100 | 89 | 68 | 28 | 0 | -8 |
| 2 | 38 | 48 | 46 | 71 | 35 | 23 | +5 | 4 | 2 | 146 | 129 | 105 | 100 | 70 | 33 | 8 | -7 |
| 3 | 68 | 79 | 81 | 105 | 65 | 50 | 19 | 17 | 3 | 148 | 132 | 108 | 105 | 73 | 36 | 20 | +4 |
| 4 | 99 | 108 | 108 | 131 | 98 | 88 | 53 | 45 | 4 | 149 | 131 | 106 | 98 | 72 | 34 | 32 | 19 |
| 5 | 129 | 136 | 130 | 151 | 130 | 133 | 94 | 89 | 5 | 146 | 127 | 102 | 88 | 69 | 32 | 36 | 24 |
| 6 | 159 | 163 | 151 | 167 | 161 | 182 | 150 | 147 | 6 | 143 | 126 | 102 | 81 | 70 | 41 | 30 | 15 |
| 7 | 190 | 189 | 173 | 186 | 192 | 222 | 204 | 211 | 7 | 142 | 128 | 106 | 83 | 75 | 53 | 23 | 9 |
| 8 | 221 | 217 | 199 | 210 | 222 | 251 | 256 | 269 | 8 | 143 | 131 | 111 | 87 | 77 | 53 | 18 | 10 |
| 9 | 252 | 248 | 230 | 242 | 250 | 276 | 286 | 301 | 9 | 144 | 131 | 112 | 88 | 75 | 44 | 11 | 4 |
| 10 | 282 | 279 | 266 | 281 | 278 | 298 | 296 | 307 | 10 | 142 | 128 | 107 | 85 | 72 | 36 | 1 | -7 |

4. Построить промер. Нанося точки всех поз и проведя все линии (для каждой позы сразу же после нанесения точек), проверить правильность поз. Прежде всего проверить, похожи ли позы на естественные позы человека. Бывает, что, перепутав координаты s_x и s_y , получают позы с переразгибанием колена вперед или со стопой в области головы. Посмотреть внимательно, нет ли «скачков» точек на воображаемой траектории (вверх или вниз, вперед или назад). Кроме этого, проверить на глаз, не изменяется ли резко длина частей тела. Теперь остается проставить номера поз. Это удобно делать через одну позу над соответствующей точкой.

¹ Существуют специальные приборы для считки координат — деш и ф р а т о р ы, но они пока очень сложны и дороги.

Лабораторная работа № 3. Расчет по координатам линейных скоростей и ускорений.

Основная задача — научиться рассчитывать линейные скорости и ускорения по способу разностей.

Пояснения:

1. Скорость — это мера быстроты изменения положения точки тела в пространстве с течением времени. Она измеряется отношением пройденного пути (Δs) к затраченному времени (Δt). Чтобы определить путь пройденный точкой (при плоском движении), разложим его на составляющие по двум направлениям: по горизонтали (x) и по вертикали (y).

Перемещение точки по горизонтали равно разности координат конечного положения (№ 3) и исходного положения (№ 1), т. е. $s_{x3} - s_{x1} = \Delta s_{x3-1}$. Это $\Delta' s_x$, или, как ее называют, «первая разность» (например, $\Delta' s_x$).

Затраченное время Δt определяется по количеству междукадровых интервалов (L) и частоте съемки (N): $\Delta t = \frac{L}{N}$.

По координатам Δs определена, но пока без масштаба. Чтобы найти действительный путь точки, надо разделить ее на величину масштаба (1/10) или умножить на величину, обратную масштабу (M). Тогда действительный путь $\Delta s = M \Delta' s$.

Средняя скорость (на участке пути между 1-й и 3-й позами):

$$v_{2-1} = \frac{\Delta s_{3-1}}{\Delta t_{3-1}} = \frac{\Delta' s_{MN}}{L}$$

Будем считать ее мгновенной горизонтальной скоростью в момент промежуточной 2-й позы. Таким же способом рассчитать мгновенные скорости по горизонтали и вертикали всех точек промера.

Однако, когда обрабатывают большую кинограмму (много точек), расчет очень продолжителен, так как нужно вычислять для каждой точки полную скорость, умножая каждую величину разности ($\Delta' s$) на расчетный коэффициент $\left(\frac{MN}{L}\right)$.

Поэтому поступают проще: строят либо векторы скоростей, либо кинематические графики.

Скорости точек тела человека практически непрерывно изменяются под действием приложенных сил: чем больше сила, тем быстрее изменяется скорость. Рассмотрим ускорение точки.

2. Ускорение — это мера быстроты изменения скорости с течением времени. Оно измеряется отношением приращения скорости (Δv) к времени (Δt), затраченному на это приращение. Ускорение, как и скорость, удобно (в плоском движении) рассчитывать по двум составляющим — горизонтальной и вертикальной:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta'' s_{MNN}}{LL}$$

Здесь $\Delta'' s$ — разность первых разностей, или «вторая разность» (например, $\Delta'' s_x$). Это среднее ускорение на участке пути (например, промежуточной позы). Будем считать его мгновенным ускорением в момент промежуточной 3-й позы.

Таким же способом рассчитывается вертикальное ускорение той же точки в то же время. Как и в случае исследования скоростей, здесь целесообразно использовать векторы ускорения либо кинематические графики.

3. Первые разности ($\Delta' s$) — это величины числителя в формуле скорости $\left(v = \frac{\Delta s}{\Delta t}\right)$, выраженные в единицах длины. Это не сами скорости, но так как при их расчете берется одинаковое Δt (L постоянно), то разности прямо пропорциональны скоростям. Следовательно, вторые разности ($\Delta'' s$) — это

величины числителя в формуле ускорения $(a = \frac{\Delta^2 s}{\Delta t^2})$, выраженные в единицах длины. Они также прямо пропорциональны ускорениям. Таким образом, если нас интересует только то, как именно и когда изменяются скорости и ускорения, а не их абсолютные величины, то можно не вести расчет до конца, а рассматривать только разности.

З а д а н и я:

1. Заготовить таблицы скоростей и ускорений: вычертить две таблицы, такие же, как таблица координат. Пронумеровать строчки (по количеству поз) и разметить колонки (по количеству точек). На том месте, где в таблице координат стояли обозначения s_x и s_y , проставить в таблице скоростей $\Delta'x$ и $\Delta'y$ и в таблице ускорений $\Delta''x$ и $\Delta''y$ (см. табл. 4).

Таблица 4

Таблица скоростей

| $\Delta'x$ | c | b | a | m | f | s | p | d | $\Delta'y$ | c | b | a | m | f | s | p | d |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | | | | | | — | | — | 1 | | | | | | — | | — |
| 2 | | | | | | 40 | | 14 | 2 | | | | | | 8 | | 12 |
| 3 | | | | | | 65 | | 41 | 3 | | | | | | 1 | | 26 |
| 4 | | | | | | 83 | | 72 | 4 | | | | | | —4 | | 20 |
| 5 | | | | | | 94 | | 102 | 5 | | | | | | 7 | | —4 |
| 6 | | | | | | 89 | | 122 | 6 | | | | | | 21 | | —15 |
| 7 | | | | | | 69 | | 122 | 7 | | | | | | 12 | | —5 |
| 8 | | | | | | 54 | | 90 | 8 | | | | | | —9 | | —5 |
| 9 | | | | | | 47 | | 38 | 9 | | | | | | —17 | | —17 |
| 10 | | | | | | — | | — | 10 | | | | | | — | | — |

Таблица 5

Таблица ускорений

| $\Delta''x$ | c | b | a | m | f | s | p | d | $\Delta''y$ | c | b | a | m | f | s | p | d |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | | | | | | — | | — | 1 | | | | | | — | | — |
| 2 | | | | | | — | | — | 2 | | | | | | — | | — |
| 3 | | | | | | 43 | | 58 | 3 | | | | | | —12 | | 8 |
| 4 | | | | | | 29 | | 61 | 4 | | | | | | 6 | | —30 |
| 5 | | | | | | 6 | | 50 | 5 | | | | | | 25 | | —35 |
| 6 | | | | | | —25 | | 20 | 6 | | | | | | 5 | | —1 |
| 7 | | | | | | —35 | | —32 | 7 | | | | | | —30 | | 10 |
| 8 | | | | | | —22 | | —84 | 8 | | | | | | —29 | | —12 |
| 9 | | | | | | — | | — | 9 | | | | | | — | | — |
| 10 | | | | | | — | | — | 10 | | | | | | — | | — |

2. Рассчитать первые и вторые разности (по горизонтали и вертикали) для избранных точек. Возьмем для примера две точки: s — коленный сустав и d — пальцы стопы. Наложим на таблицу координат таблицу скоростей так, чтобы видеть колонку цифр координат s_x точки s . Вычтем из координаты 3-й позы координату 1-й: $50 - 10 = 40$. Запишем $\Delta'x$ в таблицу скоростей в колонку s (коленный сустав) левой половины таблицы ($\Delta'x$) во вторую строку. Далее в третью строку этой колонки запишем: $88 - 23 = 65$, в четвер-

тую: $135 - 50 = 83$ и т. д. до конца колонки. В первой и последней строках данных нет, поэтому здесь поставим прочерк. Когда делают расчет $\Delta'u$ (по вертикали), встречаются случаи вычитания из меньшей величины большей (разность со знаком «минус»), вычитания отрицательных величин (их надо складывать, сохраняя знак «минус»), вычитания из отрицательных величин и т. д. Здесь надо вспомнить соответствующие правила вычитания.

Имея заполненную колонку первых разностей для какой-либо точки тела, таким же приемом можно рассчитать вторые разности. В таблицах 5 и 6 представлены рассчитанные $\Delta'x$, $\Delta'u$ и $\Delta''x$, $\Delta''u$ для точек s и d (по таблице координат, см. табл. 3). Обратит внимание на то, что в таблице ускорений первые две и последние две строки данных не содержат.

Лабораторная работа № 4. Построение векторных и кинематических графиков скоростей и ускорений.

Основные задачи:

1. Научиться строить векторные графики линейных скоростей и ускорений.
2. Научиться строить кинематические графики характеристик по времени.
3. Изучить взаимную связь в изменениях кинематических характеристик.

Пояснения:

1. Скорости и ускорения — векторные величины: они характеризуются модулем и направлением и могут складываться с себе подобными. Их можно изобразить на промере в виде стрелок определенного размера (в избранном масштабе) и соответствующего направления. Направление вектора зависит от модулей его горизонтальной и вертикальной составляющих. Складывая векторы составляющих по правилу параллелограмма (по таблице соответствующих разностей), получают полный вектор. Начало вектора — в той точке на промере, характеристика которой должна быть им представлена.

2. Масштаб изображения выбирается произвольно, но с соблюдением двух условий: а) масштаб векторов горизонтальной и вертикальной составляющих должен быть одинаковым, иначе направление и модуль полного вектора будут искажены; б) масштаб векторов следует выбирать, учитывая данные, полученные при расчете, чтобы векторы уместились на промере. Масштабы векторов скоростей и ускорений между собой не связаны, так как это разные величины; сравнивать их друг с другом по величине нельзя (см. рис. 86).

3. Для изображения вектора следует от его начала (соответствующая точка промера) отложить по горизонтали в избранном масштабе длину горизонтальной составляющей ($\Delta'x$ или $\Delta''x$) и из отмеченной точки отложить по вертикали длину вертикальной составляющей ($\Delta'u$ или $\Delta''u$). Полученную точку соединить с началом вектора: нарисовать вектор в условном обозначении (например, вектор скорости — сплошной линией, вектор ускорения — пунктиром либо цветом).

4. Кинематические графики показывают изменения величины кинематической характеристики с течением времени. Если их расположить на листе бумаги друг под другом при одинаковом масштабе и начале отсчета времени, то можно сопоставить изменения во времени разных характеристик.

Задания:

1. Нарисовать линейный масштаб на промере для векторов скоростей и ускорений.
2. Нарисовать векторы скоростей и ускорений точек (по данным лабораторной работы № 3).
3. Заготовить координатные сетки графиков. Для примера построим графики вертикальных характеристик коленного сустава (sy , $\Delta'u$, $\Delta''u$) (см. ла-

S-коленный сустав

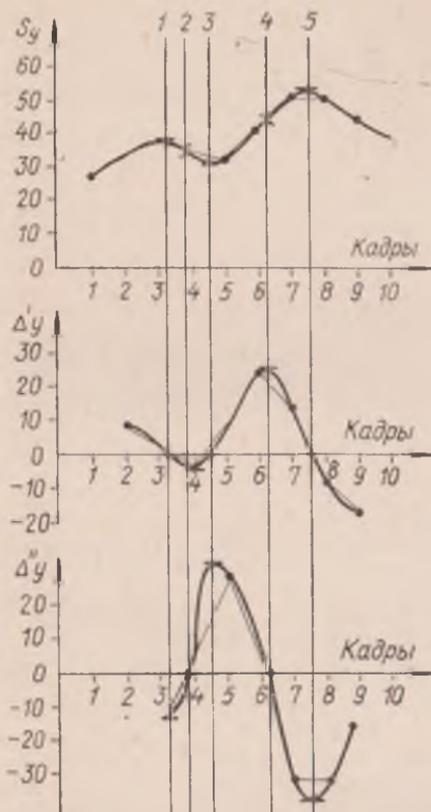


Рис. 87. Графики кинематических характеристик коленного сустава

лено так долго «держалось» на одном уровне. Очевидно, был его взлет и снижение. Проведя плавную кривую вверх, отметим ее высшую точку посередине между точками 7 и 8. Начертим вертикальную линию (№ 5) и проверим, как она проходит через другие графики. В этот момент вертикальная скорость из положительной (движение вверх) становится отрицательной (движение вниз), значит, она равна нулю. Соединив на графике Δy у точки 7, 8 и 9 плавной кривой, увидим, что не ошиблись, проведя вертикаль № 5. На графике ускорений ($\Delta'y$) можно провести кривую ниже точек 7 и 8 со впадиной как раз на вертикали № 5. И действительно, до этого момента отрицательное ускорение нарастало, стало максимальным и далее уменьшалось. Рассуждая таким же образом, найдем между точками 4 и 5 вертикаль № 3 (при нулевой вертикальной скорости наивысшее положение коленного сустава и максимум положительного вертикального ускорения) и немного позднее точки 3 вертикаль № 1 (при нулевой вертикальной скорости высшее положение колена и максимум отрицательного ускорения). Как видно, пришлось сместить высшие и низшие точки на графиках перемещений и ускорений и кривая скорости пересекает нулевую линию.

бораторную работу № 3). Рассмотрим в таблицах координат, скоростей и ускорений колонку точки коленного сустава (s) в правой половине (вертикальные характеристики — y). Определим наибольшие и наименьшие величины, чтобы установить размеры шкалы (по вертикальной оси сетки) каждой характеристики (рис. 87).

По горизонтальной оси отложим 10 равных отрезков, соответствующих интервалам времени между кадрами.

4. Построить графики характеристик. Нанести на сетке каждой характеристики точки по данным таблиц. Если соединить эти точки друг с другом при помощи линейки, то будет видно, что графики получились угловатые, как будто бы характеристики мгновенно резко изменялись. Однако известно, что на изменение скорости всегда нужно некоторое время, поэтому графики движений не могут иметь вид ломаной линии. Если бы частота киносъемки была больше, то графики имели бы вид более плавных кривых.

5. Проанализировать кривые и восстановить их более естественный вид. Попробуем последовательно исправить графики. На графике вертикальных перемещений коленного сустава (s_y) от 7-й до 8-й точки проведена горизонтальная линия. Вряд ли ко-

Теперь проверим, верно ли отмечены высшая и низшая точки графика скорости (около точек 4 и 6). Когда скорость максимальная, то это значит, что больше она уже не растёт. Значит, в этот момент ускорение равно нулю и график ускорения пересекает нулевую линию. Сгладив от руки график ускорений, уточним, где провести вертикали № 2 и 4. В этот же момент на графике перемещений изменяется направление кривизны, происходит перегиб кривой.

Сам процесс уточнения графиков заставляет задуматься над значением характеристик и их взаимосвязей. Видно, что у перемещения и скорости одинаковое направление (движение колена вниз — скорость отрицательная; движение вверх — положительная). Если скорость увеличивается, то у ускорения тот же знак, т. е. то же направление, что и у скорости. Если же скорость уменьшается, то у ускорения противоположное направление (тормозящая сила направлена навстречу движению), знаки скорости и ускорения противоположны. При крайнем положении (верхнем или нижнем) скорость нулевая, а ускорение может быть даже максимальным. Между крайними положениями, когда скорость наибольшая, ускорение равно нулю (ускоряющая сила сменяется тормозящей).

Лабораторная работа № 5. Расчет угловых скоростей и ускорений по угловым координатам.

Основные задачи:

1. Научиться определять угловые положения тела (считать угловые координаты).
2. Научиться рассчитывать угловые скорости и ускорения по способу разностей.

Пояснения:

1. Угловые положения, скорости и ускорения характеризуют не движения точки тела, а всего тела. Однако для определения этих величин нужна опознавательная точка (пункт или линия отсчета) на теле. В нашем примере (большой оборот назад на перекладине) такой точкой выбран общий центр тяжести тела (ОЦТ) (рис. 88). Определим начало отсчета — вертикальная линия, проведенная через стойку перекладины.

Определим направление отсчета по часовой стрелке, в сторону движения гимнаста. Единицы отсчета — угловые градусы (определяются при помощи транспортира). Отсчет углового положения тела (угловая координата) в каждой позе ведется по линии от точки хвата до ОЦТ, которая служит линией отсчета от вертикали

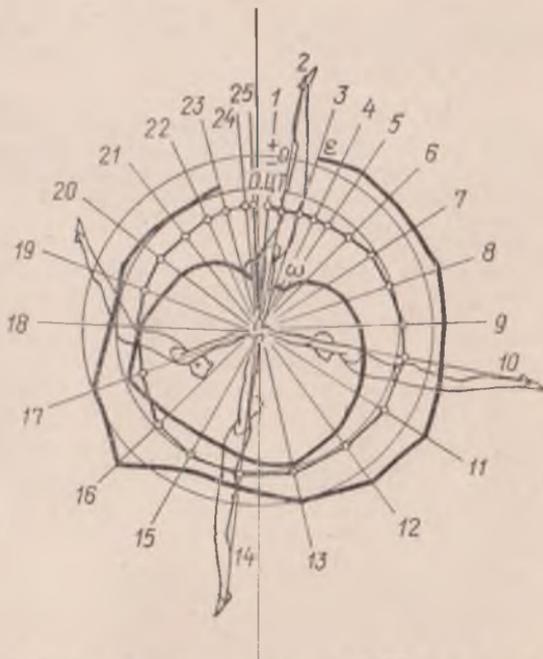


Рис. 88. Круговые графики: ОЦТ — положение; ω — угловой скорости; ϵ — углового ускорения

по часовой стрелке до радиуса ОЦТ, проведенного от грифа перекладины к ОЦТ. Строго говоря, под действием центробежных сил тела гимнаста и его веса перекладина изгибается и центр вращения перемещается. Если учитывать это перемещение, то расчет усложняется, но обычно им пренебрегают. Измеренные угловые положения (φ) заносят в вертикальную колонку.

2. Угловая скорость — это мера быстроты изменения углового положения всего тела в пространстве с течением времени. Ее измеряют отношением углового перемещения ($\Delta\varphi$) к затраченному времени. Расчет ведется по способу первых разностей, описанному в лабораторной работе № 2. Из угловой координаты 3-й позы (φ_3) вычитается угловая координата 1-й позы (φ_1). Полученная разность $\varphi_3 - \varphi_1 = \Delta'\varphi_2$ равна числителю формулы угловой скорости ($\omega_2 = \frac{\Delta'\varphi_2}{\Delta t}$). Это путь (в угловых единицах), пройденный за два интервала между кадрами. Эта разность прямо пропорциональна скорости. В нашем примере при частоте съемки 12 кадров в секунду два интервала равны $1/6$ сек (разделив соответствующую $\Delta'\varphi$ на $1/6$ сек, получим угловую скорость в градусах за 1 сек).

3. Угловое ускорение — это мера быстроты изменения угловой скорости с течением времени. Она измеряется отношением приращения угловой скорости (положительного или отрицательного) к времени, затраченному на это приращение. Расчет угловых ускорений ведется по способу вторых разностей. Из первой разности 4-й позы вычитается первая разность 2-й позы. Полученная вторая разность ($\Delta'\varphi_4 - \Delta'\varphi_2 = \Delta''\varphi_3$) составляет числитель формулы углового ускорения ($\epsilon_3 = \frac{\Delta''\varphi_3}{\Delta t^2}$). Она прямо пропорциональна ускорению.

Расчет разностей ведется через два интервала и, среднее ускорение относится к промежуточной точке.

З а д а н и я:

1. Перенести на лист бумаги с кинограммы положения ОЦТ (25 точек), оси перекладины и вертикали (через стойку перекладины). Можно использовать копиру, перерисовать на оконном стекле (на просвет) или проколоть иглой каждую точку. Проставить номера точек соответствующих ОЦТ, провести вертикаль.

2. Провести радиусы ОЦТ от центра вращения к каждой точке, соответствующей ОЦТ. Соединить все эти точки, получая тем самым траекторию движения ОЦТ. Провести окружность радиусом ОЦТ позы в естественно выпрямленном положении ОЦТ (поза № 7).

3. Заготовить таблицу для записи угловых положений (φ), расчета угловых скоростей ($\Delta'\varphi$) и угловых ускорений ($\Delta''\varphi$) (табл. 6).

4. Определить угловые положения (измеряя от вертикали по ходу движения) транспортиром и записать в таблицу (графа φ). После 13-й позы транспортир переложить по другую сторону вертикали и продолжать отсчет от 180° (до 360°).

5. Рассчитать первые и вторые разности. Вычитая из угловой координаты 3-й позы угловую координату 1-й позы, получить первую разность, прямо пропорциональную угловой скорости во 2-й позе (записать во 2-ю строку 2-й колонки $\Delta\varphi$). Таким же способом определить угловые ускорения (по вторым разностям).

Лабораторная работа № 6. Построение круговых графиков угловых скоростей и ускорений.

О с н о в н ы е з а д а ч и:

1. Научиться строить круговые графики угловых скоростей и ускорений.
2. Изучить взаимную связь изменений радиуса центра тяжести, угловых скоростей и ускорений.

Угловые координаты и их первые и вторые разности

| Поза | φ | $\Delta'\varphi$ | $\Delta''\varphi$ | Поза | φ | $\Delta'\varphi$ | $\Delta''\varphi$ | Поза | φ | $\Delta'\varphi$ | $\Delta''\varphi$ |
|------|-----------|------------------|-------------------|------|-----------|------------------|-------------------|------|-----------|------------------|-------------------|
| 1 | 4 | — | — | 10 | 102 | 34 | 8 | 18 | 271 | 40 | —7 |
| 2 | 10 | 13 | — | 11 | 120 | 40 | 12 | 19 | 291 | 35 | —9 |
| 3 | 17 | 15 | 4 | 12 | 142 | 46 | 6 | 20 | 306 | 31 | —7 |
| 4 | 25 | 17 | 4 | 13 | 166 | 46 | —2 | 21 | 322 | 28 | —9 |
| 5 | 34 | 19 | 5 | 14 | 188 | 44 | —5 | 22 | 334 | 22 | —9 |
| 6 | 44 | 22 | 7 | 15 | 210 | 41 | —3 | 23 | 344 | 19 | —9 |
| 7 | 56 | 26 | 8 | 16 | 229 | 41 | 1 | 24 | 353 | 13 | — |
| 8 | 70 | 30 | 6 | 17 | 251 | 42 | —1 | 25 | 357 | — | — |
| 9 | 86 | 32 | 4 | | | | | | | | |

Пояснения:

1. Изменения угловой скорости тела гимнаста и соответствующие им ускорения зависят от действия силы тяжести (при движении вниз она ускоряет движение, при движении вверх она его замедляет), а также от изменения длины радиуса ОЦТ. Когда ОЦТ приближается к перекладине, появляется положительное угловое ускорение и угловая скорость увеличивается; отдаление ОЦТ от перекладины производит противоположное действие. Чтобы проследить за влиянием приближения ОЦТ к центру вращения и отдаления от нее, соединить все точки, соответствующие ОЦТ, от № 1 до № 25 (включительно, но не далее) сплошной линией. Это траектория ОЦТ.

2. Круговой график угловых скоростей удобно изобразить, откладывая величины угловой скорости (первых разностей $\Delta'\varphi$) на радиусах ОЦТ от оси перекладины. Соединив все точки на радиусах (от № 2 до № 24), получим график угловой скорости.

3. Круговой график углового ускорения изображают иначе, чем график угловой скорости, так как скорость имеет один знак (движение в одном направлении), а у ускорения два знака (положительный — нарастание скорости и отрицательный — уменьшение скорости). За нулевой уровень примем окружность произвольного радиуса (центр ее — ось перекладины). Положительные ускорения будем откладывать по радиусам соответствующих точек к центру от окружности (от нуля), а отрицательные — от центра.

Задания:

1. Нарисовать круговые графики угловых скоростей и ускорений. Отложить на радиусах ОЦТ (начиная со 2-й позы) величину угловой скорости в произвольном масштабе (например, 10° первой разности равны 10 мм). Соединить полученные точки линиями. Отложить на радиусах ОЦТ (начиная с 3-й позы) от окружности произвольного радиуса положительные ускорения к центру, отрицательные — от центра (масштаб: 10 мм соответствуют 10° второй разности). Соединить точки линиями (см. рис. 88). Обратить внимание на то, что кривые не замкнуты, так как нет данных для первой и последней позы по скоростям, для двух с начала и двух с конца для ускорений. Отметить, что это графики рассматриваемых характеристик по пути, а не по времени.

2. Проанализировать зависимости движения от действия силы тяжести и приближения тела к оси перекладины. Заметить, где происходит отдаление ОЦТ от перекладины и его приближение к ней, каковы связанные с этим изменения ускорения и скорости.

Лабораторная работа № 7. Построение линейной хронограммы.

Основные задачи:

1. Научиться определять моменты изменения движения, фазы и периоды.
2. Научиться чертить линейные хронограммы.

Пояснения:

1. Хронограмма — это диаграмма (чертеж) временных соотношений. На оси времени откладываются отрезки, соответствующие длительности частей (фаз) движения. Фаза начинается и заканчивается в моменты изменения движения (например, окончание полета и начало опорного положения, окончание опоры и начало полета). Момент изменения движения служит границей между двумя соседними фазами.

2. По хронограмме можно определить последовательность фаз, их длительность и соотношение их длительностей (ритм движения).

Задания:

1. Определить граничные моменты фаз. Рассматривая кинограмму (рис. 89), обратить внимание на границы между фазами полета и опоры (приземление — позы № 5, 13, 22, 55 и отрыв от опоры — позы № 1, 9, 18, 24), между взлетом в полете и снижением к опоре (позы № 3, 38). В опоре по движению ОЦТ заметна амортизация и отталкивание в третьем опорном положении (на руках): от позы № 13 до № 15 — амортизация, от № 15 до № 18 — отталкивание. Во втором и четвертом опорных положениях амортизация по движению ОЦТ незаметна (компенсируется махом руками вверх), но видна по сгибанию ног (от позы № 5 до № 7, от позы № 22 до № 23).

Начертив таблицу, вписать в соответствующую графу обозначение момента и номер кадра. Обозначить момент лучше не как начало или конец какой-либо фазы (например, конец амортизации), а по определенным признакам (что происходит в этот момент).

2. Определить содержание и длительность фаз. По записанным в таблицу моментам определить содержание фаз, ограниченных моментами, и записать в таблицу. Отметить, какие номера кадров

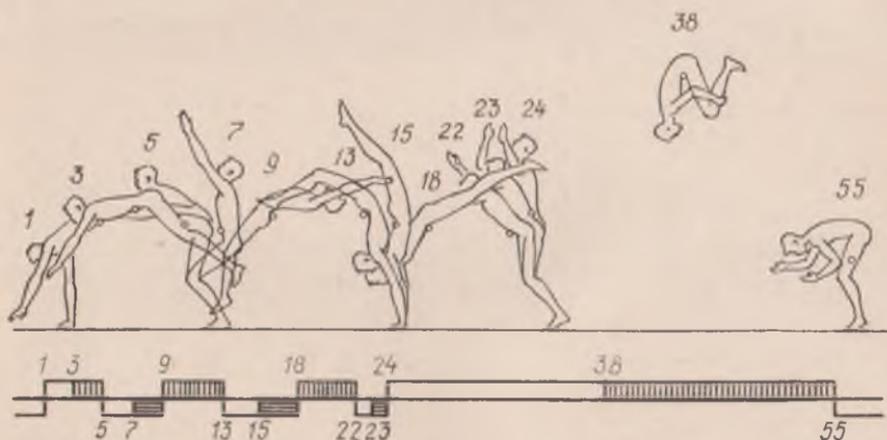


Рис. 89. Хронограмма акробатического упражнения

ограничивают каждую фазу. Заметить, как построена таблица (смещение строчек фаз относительно строчек моментов), что облегчает определение границ фазы. В последнюю графу вписать длительность фаз — по количеству интервалов между кадрами. Частота съемки — 24 кадра в секунду.

3. Начертить линейную хронограмму. Провести ось времени, установить масштаб изображения и нанести его (в виде N кадров) на ось времени. Провести ось хронограммы (рис. 89). Отложить на ней моменты изменения движений (по таблице) и надписать (сверху) название моментов.

Отложить фазы (обозначая их прямоугольниками): опорные — ниже оси хронограммы, безопорные — выше оси. Надписать (снизу) названия фаз. Изобразить ниже хронограммы схему деления упражнения на периоды. Обратит внимание на соотношение длительностей опоры и полета (продолжительная опора и короткий полет в первых отталкиваниях и обратное соотношение в последнем отталкивании). Проследить соотношение длительностей (ритм амортизации и отталкиваний руками и ногами).

Лабораторная работа № 8. Определение положения общего центра тяжести тела графическим способом (сложением сил тяжести).

Основные задачи:

1. Научиться определять положение центров тяжести звеньев (ЦТ).
2. Научиться определять положение общего центра тяжести тела (ОЦТ).

Пояснения:

1. Центр тяжести звена — это воображаемая точка, к которой приложена равнодействующая сил тяжести всех частей звена. Опытным путем (О. Фишер, Н. А. Бернштейн) были определены средние данные о весе звеньев тела и о положении их центров тяжести. Если принять вес тела за 100%, то вес каждого звена может быть выражен в относительных единицах (в %). При выполнении расчетов не обязательно знать абсолютные веса (в кг) ни всего тела, ни каждого звена. Центры тяжести звеньев определены или по анатомическим ориентирам (голова, кисть), или по относительному расстоянию ЦТ от проксимального сустава (радиус центра тяжести — часть всей длины звена конечностей), или по пропорции (туловище, стопа) (см. 25. 2).

Таблица 7

Относительные веса и расположение центров тяжести звеньев тела

| Название звена | Относительный вес (P) в % | Расположение ЦТ звена |
|----------------------|---------------------------|---|
| Голова | 7 | Над верхним краем наружного слухового отверстия |
| Туловище | 43 | На линии между серединами осей плечевых и тазобедренных суставов на расстоянии 0,44 от плечевой оси |
| Плечо | 3 | 0,47 |
| Предплечье | 2 | 0,42 |
| Кисть | 1 | Пястнофаланговый сустав 3-го пальца |
| Бедро | 12 | 0,44 |
| Голень | 5 | 0,42 |
| Стопа | 2 | На линии между пяточным бугром и 2-м пальцем на расстоянии 0,44 от пятки |

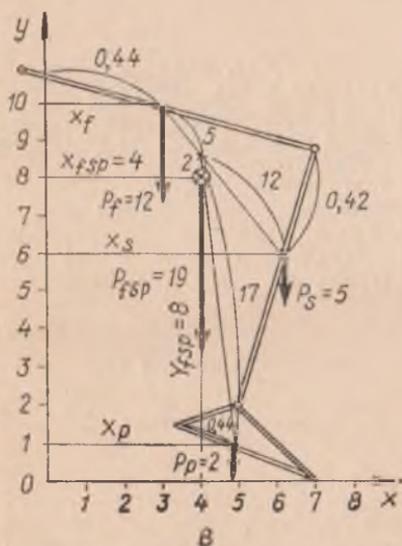
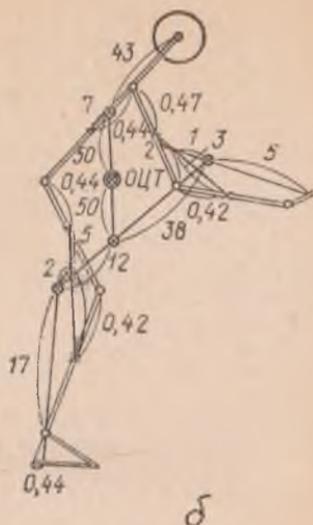
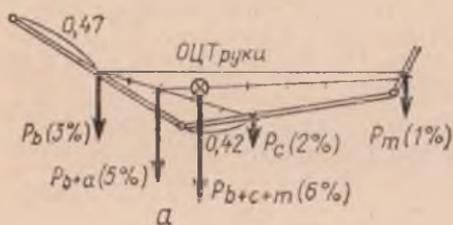


Рис. 90. Определение ОЦТ графически (а — звеньев руки; б — всего тела) и аналитически (в — звеньев ноги)

2. Для определения равнодействующей двух параллельных сил соединяют прямой линией точки их приложения. При сложении сил тяжести двух звеньев эта линия соединяет их ЦТ. На этой линии располагается точка приложения суммы двух сил (равнодействующей), т. е. общий центр тяжести суммы двух звеньев. Например, общий центр тяжести плеча и предплечья расположен на линии, соединяющей их ЦТ (рис. 90, а). Так как вес плеча составляет 3%, а предплечья — 2% веса тела, то эту линию следует разделить на $2 + 3 = 5$ частей. ЦТ двух звеньев расположен ближе к более тяжелому (соотношение отрезков линии 2 : 3, считая от плеча). Таким же способом нужно прибавить все силы тяжести остальных звеньев.

3. Положение ОЦТ и ЦТ звеньев важно определить при разборе условий равновесия в статическом положении. Изменением траектории движения центра тяжести определить действие внешних сил, приложенных в целом или внешних относительно соответствующего звена.

З а д а н и я:

1. Определить положение ЦТ звеньев тела. На фотографии позы человека, пользуясь анатомическими данными, пометить положение проекций осей суставов. Измерив длину каждого длинного звена, умножить ее на соответ-

ствующее относительное значение радиуса ЦТ. Пользуясь этими данными и анатомическими ориентирами, проставить ЦТ всех звеньев.

2. Найти равнодействующую всех сил тяжести. Удобно найти сначала ЦТ сил тяжести плеча и предплечья (векторы сил тяжести рисовать не нужно, следует только помнить относительные веса звеньев); далее, прибавив вес кисти, найти ОЦТ всей руки. Так же последовательно суммировать веса звеньев ноги. Если положение симметричное, то, значит, ЦТ обеих рук расположены одинаково, так же как и обеих ног. Определяя ОЦТ всех конечностей, это можно еще не учитывать, но, прибавляя к их весу вес туловища или головы, нельзя забывать удвоить вес конечностей. Определяя положение ЦТ туловища (если оно согнуто или разогнуто), правильно его положение наносить не на изогнутой продольной оси, а на прямой линии, соединяющей плечевой и тазобедренный суставы. Однако и здесь будет допущена погрешность, поэтому расценки способы определения положений ОЦТ менее точны, чем экспериментальные (уравновешиванием).

Определив положение ОЦТ головы и туловища (50% веса тела), а также всех конечностей (другая половина веса), названные две точки соединяют отрезком, который делят пополам. В этой точке и расположен ОЦТ тела (рис. 90, б).

Лабораторная работа № 9. Определение положения общего центра тяжести тела аналитическим способом (сложением моментов сил тяжести по теореме Вариньона).

Основная задача — научиться определять положение ОЦТ сложением моментов сил тяжести.

Пояснения:

1. Способ сложения моментов сил тяжести основан на теореме Вариньона: «Сумма моментов сил относительно любого центра равна моменту суммы этих сил (их равнодействующей) относительно того же центра». Рассмотрим для примера сложение моментов сил тяжести трех звеньев ноги (рис. 90, а). Определим сначала положение ЦТ трех звеньев (см. лабораторную работу № 4). Выберем произвольно центр, относительно которого будем определять моменты сил тяжести. Эту точку O можно поставить где угодно, но удобнее ее поместить внизу слева от чертежа, чтобы все моменты (x и y) были положительными. Проведем из этой точки две взаимно перпендикулярные оси ox и oy . Заметим, что их направление относительно позы тела не имеет никакого значения. Фотоснимок позы относительно этих осей можно помещать в любом наклоне. Это не повлияет на положение ОЦТ.

Далее выбирают любой масштаб, желательно (но не обязательно) одинаковый для обеих осей. На чертеже для наглядности обозначим координаты центров тяжести звеньев (x_f, x_s, x_p и y_f, y_s, y_p) и силы тяжести в относительных единицах (P_f, P_s, P_p). Момент силы тяжести бедра относительно центра O по оси x равен произведению веса бедра (P_f) на расстояние его ЦТ от оси x (координата x_f). Так же определим моменты сил тяжести голени и стопы. Теперь запишем сумму этих моментов сил по теореме Вариньона:

$$P_f x_f + P_s x_s + P_p x_p = P_{fsp} x_{fsp}$$

В левой части уравнения сумма моментов сил тяжести всех звеньев ноги относительно центра O по оси x , а в правой — момент их равнодействующей силы (P_{fsp}). Из всех величин уравнения неизвестна лишь координата x_{fsp} ; это координата x точки приложения силы P_{fsp} , т. е. ОЦТ всей ноги, а ее-то мы и ищем. Она равна:

$$x_{fsp} = \frac{P_f x_f + P_s x_s + P_p x_p}{P_{fsp}} = \frac{\sum P x}{P_{fsp}}$$

т. е. сумме моментов сил тяжести, деленной на вес всей ноги. Таким же способом, подставляя в уравнение вместо координат x ЦТ звеньев их координаты y , находим координату y ОЦТ ноги. Координаты x и y определяют положение ОЦТ всей ноги. Таким же способом определяют и ОЦТ тела.

Для удобства расчетов составляется таблица записи, с помощью которой удобно проверять проделанную работу. В этой таблице столько строк, сколько звеньев тела. При симметричном положении можно не повторять записи данных одинаково расположенных звеньев, а умножать их моменты на два. Если относительные веса выражать не в процентах, а в сотых долях единицы, то после сложения моментов сил делить их на вес не нужно. Сумма моментов численно равна соответствующей координате ОЦТ. Как уже отмечалось выше, высчитывать абсолютные веса каждого звена, умножая относительный вес на абсолютный, нет смысла. Это лишнее арифметическое действие. В последующем действии сумму моментов придется вновь делить на тот же абсолютный вес.

Таблица 8

Расчет координат ОЦТ

| ЦТ | x | y | P (%) | $P \cdot x$ | $P \cdot y$ |
|--------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------|----------------------|
| Бедра . . . | 3 | 10 | 12 | $3 \times 12 = 36$ | $10 \times 12 = 120$ |
| Голени . . . | 6 | 6 | 5 | $6 \times 5 = 30$ | $6 \times 5 = 30$ |
| Стопы . . . | 5 | 1 | 2 | $5 \times 2 = 10$ | $1 \times 2 = 2$ |
| Всей ноги | $x_{fsp} = \frac{76}{19} = 4$ | $y_{fsp} = \frac{152}{19} = 8$ | $P_{fsp} = 19$ | $\sum P_x = 76$ | $\sum P_y = 152$ |

Задания:

1. Пометить на фотоснимке положение проекций осей суставов и найти положение ЦТ звеньев.
2. Провести оси координат (из произвольного центра); считать координаты ЦТ звеньев и записать их в таблицу.
3. Подсчитать моменты сил тяжести каждого звена, записав в таблицу относительные веса звеньев (в процентах или долях единицы) относительно избранного центра (начала координат).
4. Сложить моменты сил тяжести (отдельно по оси x и y) и разделить их на относительный вес тела (в тех же единицах).
5. Нанести положение ОЦТ по найденным координатам относительно начала координат.

Лабораторная работа № 10. Определение момента инерции тела человека (по методу В. А. Петрова).

Основная задача — научиться приближенно рассчитывать момент инерции тела.

Пояснения:

1. Расчет момента инерции тела (по таблицам В. А. Петрова) основан на приравнивании звеньев тела человека к тонким однородным брусам одинакового сечения. Для модели «стандартного человека» (вес = 70 кг, рост (I) = 1,70 м) момент инерции относительно поперечной оси, проходящей

через его середину: $I_c = \frac{ml^2}{12}$, и относительно оси, проходящей через конец: $I_k = \frac{ml^2}{3}$ (рис. 91). Если ось вращения ($a - a$) отстоит на L от какой-либо третьей оси $z - z$ (параллельной первой оси), проходящей через середину, и параллельна ей, то момент инерции можно рассчитывать по формуле $I_k = I_c + mL^2$.

2. Для такого приближенного расчета применяют расчетную таблицу (см. табл. 9)¹.

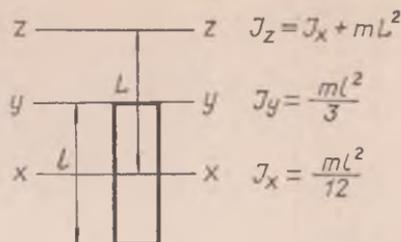


Рис. 91. Моменты инерции тела относительно параллельных осей

Таблица 9

Расчет момента инерции тела (по формуле $I = mk$)

| № п/п | Часть тела | Масса ($\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$) | Длина (l) части тела | r | K | Момент инерции ($\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2$) |
|----------|--------------------------------|--|-----------------------------|-----|-----|--|
| 1 | Голова | 0,49 | | | | |
| 2 | Туловище | 3,30 | | | | |
| 3 | Бедро правое | 0,87 | | | | |
| 4 | Бедро левое | 0,87 | | | | |
| 5 | Голень—стопа правая | 0,43 | | | | |
| 6 | Голень — стопа левая | 0,43 | | | | |
| 7 | Вся нога правая | 1,30 | | | | |
| 8 | Вся нога левая | 1,30 | | | | |
| 9 | Рука правая | 0,37 | | | | |
| 10 | Рука левая | 0,37 | | | | |
| Все тело | | | | | | |

Примечание. При положении тела с согнутыми ногами в расчетной таблице заполняют строки 3—6, при выпрямленных ногах — строки 7—8.

В колонку 4 записывают длину звена (в m), в колонку 5 — расстояние центра (середина) звена (r) от оси вращения (в m). В колонку 6 записывают значение коэффициента K из таблицы 10, где слева записаны расстояния r , а сверху — длина звеньев l . Например, коэффициент K для расстояния $r = 0,80 m$ и $l = 0,60 m$ равен 0,670.

¹ Таблица В. А. Петрова составлена в так называемой технической системе единиц МКГСС, где единица силы — кг , а единица массы — $\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$

Таблица расчетных коэффициентов K (для расчета момента инерции по формуле $I = \pi K$)

| Метры | Длина звена (l) | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0,3 | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,75 | 0,80 | 0,90 | 1,00 | 1,10 | 1,20 |
| 0,0 | 0,00 | 0,008 | 0,010 | 0,013 | 0,017 | 0,020 | 0,025 | 0,030 | 0,035 | 0,041 | 0,047 | 0,053 | 0,068 | 0,083 | 0,101 | 0,120 |
| 0,1 | 0,01 | 0,018 | 0,020 | 0,023 | 0,037 | 0,031 | 0,035 | 0,040 | 0,045 | 0,051 | 0,057 | 0,063 | 0,078 | 0,093 | 0,101 | 0,130 |
| 0,15 | 0,02 | 0,031 | 0,033 | 0,036 | 0,040 | 0,044 | 0,048 | 0,053 | 0,058 | 0,064 | 0,070 | 0,076 | 0,091 | 0,106 | 0,124 | 0,143 |
| 0,20 | 0,04 | 0,048 | 0,050 | 0,053 | 0,057 | 0,061 | 0,065 | 0,070 | 0,075 | 0,081 | 0,087 | 0,093 | 0,108 | 0,123 | 0,141 | 0,160 |
| 0,25 | 0,06 | 0,068 | 0,070 | 0,073 | 0,077 | 0,081 | 0,085 | 0,090 | 0,095 | 0,101 | 0,107 | 0,113 | 0,128 | 0,143 | 0,161 | 0,180 |
| 0,30 | 0,09 | 0,098 | 0,100 | 0,103 | 0,107 | 0,111 | 0,115 | 0,120 | 0,125 | 0,131 | 0,137 | 0,143 | 0,158 | 0,179 | 0,191 | 0,210 |
| 0,35 | 0,12 | 0,128 | 0,130 | 0,133 | 0,137 | 0,141 | 0,145 | 0,150 | 0,155 | 0,161 | 0,167 | 0,173 | 0,188 | 0,203 | 0,221 | 0,340 |
| 0,40 | 0,16 | 0,168 | 0,170 | 0,173 | 0,177 | 0,181 | 0,185 | 0,190 | 0,195 | 0,201 | 0,207 | 0,213 | 0,228 | 0,243 | 0,261 | 0,280 |
| 0,45 | 0,20 | 0,208 | 0,210 | 0,213 | 0,217 | 0,221 | 0,225 | 0,230 | 0,235 | 0,241 | 0,247 | 0,253 | 0,268 | 0,283 | 0,301 | 0,320 |
| 0,50 | 0,25 | 0,258 | 0,260 | 0,263 | 0,267 | 0,271 | 0,275 | 0,280 | 0,285 | 0,291 | 0,297 | 0,303 | 0,318 | 0,333 | 0,351 | 0,370 |
| 0,55 | 0,30 | 0,308 | 0,310 | 0,313 | 0,317 | 0,321 | 0,325 | 0,330 | 0,335 | 0,341 | 0,347 | 0,353 | 0,368 | 0,383 | 0,401 | 0,420 |
| 0,60 | 0,36 | 0,368 | 0,370 | 0,373 | 0,377 | 0,381 | 0,385 | 0,390 | 0,395 | 0,401 | 0,407 | 0,413 | 0,428 | 0,443 | 0,461 | 0,450 |
| 0,65 | 0,42 | 0,428 | 0,430 | 0,433 | 0,437 | 0,441 | 0,445 | 0,450 | 0,455 | 0,461 | 0,467 | 0,473 | 0,488 | 0,502 | 0,521 | 0,540 |
| 0,70 | 0,49 | 0,498 | 0,500 | 0,503 | 0,507 | 0,511 | 0,515 | 0,520 | 0,525 | 0,531 | 0,537 | 0,543 | 0,558 | 0,563 | 0,591 | 0,610 |
| 0,75 | 0,56 | 0,568 | 0,570 | 0,573 | 0,577 | 0,581 | 0,585 | 0,590 | 0,595 | 0,601 | 0,607 | 0,613 | 0,628 | 0,643 | 0,661 | 0,680 |
| 0,80 | 0,64 | 0,648 | 0,650 | 0,653 | 0,657 | 0,661 | 0,665 | 0,670 | 0,675 | 0,681 | 0,687 | 0,693 | 0,708 | 0,723 | 0,741 | 0,760 |
| 0,85 | 0,72 | 0,728 | 0,730 | 0,733 | 0,737 | 0,741 | 0,745 | 0,750 | 0,755 | 0,761 | 0,767 | 0,773 | 0,788 | 0,803 | 0,821 | 0,840 |
| 0,90 | 0,81 | 0,818 | 0,820 | 0,823 | 0,827 | 0,831 | 0,835 | 0,840 | 0,845 | 0,851 | 0,857 | 0,863 | 0,878 | 0,893 | 0,911 | 0,930 |
| 0,95 | 0,90 | 0,908 | 0,910 | 0,913 | 0,917 | 0,921 | 0,925 | 0,930 | 0,935 | 0,941 | 0,947 | 0,953 | 0,968 | 0,983 | 0,001 | 1,020 |
| 1,00 | 1,00 | 1,008 | 1,010 | 1,013 | 1,017 | 1,021 | 1,025 | 1,030 | 1,035 | 1,041 | 1,047 | 1,053 | 1,068 | 1,083 | 1,101 | 1,120 |
| 1,10 | 1,21 | 1,218 | 1,220 | 1,223 | 1,227 | 1,231 | 1,235 | 1,240 | 1,245 | 0,251 | 1,257 | 1,263 | 1,278 | 1,293 | 1,311 | 1,330 |
| 1,20 | 1,44 | 1,448 | 1,450 | 1,453 | 1,457 | 1,461 | 1,465 | 1,470 | 1,475 | 0,481 | 1,487 | 1,493 | 1,508 | 1,523 | 1,541 | 1,560 |
| 1,30 | 1,69 | 1,698 | 1,700 | 1,703 | 1,707 | 1,711 | 1,715 | 1,720 | 1,725 | 0,731 | 1,737 | 1,743 | 1,758 | 1,773 | 1,791 | 1,810 |
| 1,40 | 1,96 | 1,968 | 1,970 | 1,973 | 1,977 | 1,981 | 1,985 | 1,990 | 1,995 | 0,001 | 2,007 | 2,013 | 2,028 | 2,043 | 2,061 | 2,080 |
| 1,50 | 2,25 | 2,258 | 2,260 | 2,263 | 2,267 | 2,270 | 2,275 | 2,280 | 2,285 | 2,291 | 2,297 | 2,303 | 2,318 | 2,333 | 2,351 | 2,370 |
| 1,60 | 2,56 | 2,568 | 2,570 | 2,573 | 2,577 | 2,581 | 2,585 | 2,590 | 2,595 | 2,601 | 2,607 | 2,613 | 2,628 | 2,643 | 2,661 | 2,680 |
| 1,70 | 2,89 | 2,898 | 2,900 | 2,903 | 2,907 | 2,911 | 2,915 | 2,920 | 2,925 | 2,931 | 2,937 | 2,943 | 2,958 | 2,973 | 2,991 | 3,010 |
| 1,80 | 3,24 | 3,248 | 3,250 | 3,253 | 3,257 | 3,261 | 3,265 | 3,270 | 3,275 | 3,281 | 3,287 | 3,293 | 3,308 | 3,323 | 3,341 | 3,360 |
| 1,90 | 3,61 | 3,618 | 3,620 | 3,623 | 3,627 | 3,631 | 3,635 | 3,640 | 3,645 | 3,651 | 3,657 | 3,663 | 3,678 | 3,693 | 3,711 | 3,720 |
| 2,00 | 4,00 | 4,008 | 4,010 | 4,013 | 4,017 | 4,021 | 4,025 | 4,030 | 4,035 | 4,041 | 4,047 | 4,053 | 4,068 | 4,083 | 4,101 | 4,120 |

Расстояние от оси вращения до центра звена (r)

Определив на промере в масштабе действительные длины звеньев (l), их центры, а также расстояния от этих центров до оси вращения (r), по таблице расчетных коэффициентов (см. табл. 10) определяют моменты инерции звеньев (колонка 7, табл. 9).

Задания:

1. Построить расчетную таблицу для определения момента инерции тела.

2. На промере измерить и пересчитать по масштабу действительную длину звеньев тела (l); для головы длина принимается равной нулю. Записать полученные данные в колонку 4 расчетной таблицы.

3. Определить (по радиусам центра тяжести) положения центров тяжести каждого звена, измерить их расстояние (r) до оси вращения и пересчитать по масштабу в действительную длину. Записать полученные данные в колонку 5 расчетной таблицы.

4. Найти по данным l и r для каждого звена в таблице коэффициенты величины и записать в колонку 6 расчетной таблицы.

5. Умножив массу m на коэффициент K , определить момент инерции каждого звена и записать его значение в колонку 7 расчетной таблицы.

6. Просуммировав моменты инерции всех звеньев, записать в расчетной таблице момент инерции всего тела в строке 11 колонки 7.

ЛИТЕРАТУРА

Анохин П. К. Теория функциональной системы как предпосылка к построению физиологической кибернетики. В кн.: «Биологические аспекты кибернетики». М., 1962.

Бассин Ф. В. О подлинном значении нейрофизиологических концепций Н. А. Бернштейна. — «Вопросы философии», 1967, № 11.

Бернштейн Н. А. О построении движений. М., 1967.

Бернштейн Н. А. Очерки о физиологии движений и физиологии активности. М., 1966.

Бутович Н. А., Чудовский В. И. Кроль—быстрейший способ плавания. М., 1968.

Гернет М. М. Курс теоретической механики. М., 1973.

Геронимус Я. Л. Теоретическая механика. М., 1973.

Гросс Х. Х., Донской Д. Д. Рационализация спортивной техники на основе моделирования систем движений. — «Теория и практика физической культуры», 1974, № 11.

Донской Д. Д. Биомеханика с основами спортивной техники. Учебник для институтов физической культуры. М., 1971.

Донской Д. Д. Законы движений в спорте. М., 1968.

Коренберг В. Б. Надежность исполнения в гимнастике. М., 1970.

Назаров В. Т. Упражнения на перекладине. М., 1973.

Новик И. Б. О моделировании сложных систем. М., 1965.

Петров В., Гагин Ю. Механика спортивных движений. М., 1974.

Свидерский В. И. О диалектике элементов и структуры. М., 1962.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Предисловие | 3 |
| <i>Часть первая. ОБЩАЯ БИОМЕХАНИКА</i> | 5 |
| Глава I. Предмет и методы биомеханики | — |
| <i>Биомеханика как наука о движениях человека</i> | — |
| § 1. Предмет биомеханики | 6 |
| 1. Понятия о формах движения (6). 2. Объект познания биомеханики (6). 3. Область изучения биомеханики (7). | |
| § 2. Задачи биомеханики | 8 |
| 1. Общая задача изучения движений (8). 2. Частные задачи биомеханики (8). | |
| § 3. Содержание биомеханики | 10 |
| 1. Теория биомеханики (10). 2. Метод биомеханики (11). | |
| § 4. Развитие биомеханики как науки | 12 |
| 1. Начальное развитие биомеханики (12). 2. Разработка методик изучения движений (13). 3. Становление теории биомеханики (13). 4. Связи биомеханики с другими науками (16). | |
| <i>Биомеханические методы изучения движений</i> | 16 |
| § 5. Организация биомеханического исследования | — |
| 1. Постановка задач и выбор методик исследования (17). 2. Этапы организации исследования (18). | |
| § 6. Регистрация характеристик движений | 19 |
| 1. Регистрация кинематических характеристик (19). 2. Регистрация динамических характеристик (24). 3. Оценка погрешности измерения (28). | |
| § 7. Биомеханический анализ положений и движений | 29 |
| 1. Определение характеристик (29). 2. Установление двигательного состава (29). 3. Анализ структуры движений (29). 4. Оценка эффективности движений (30). | |
| Глава II. Двигательный аппарат как биомеханическая система | 31 |
| § 8. Соединения звеньев тела | 32 |
| 1. Биокинематические пары (32). 2. Биокинематические цепи (32). 3. Степени свободы движения в биокинематических цепях (34). | |
| § 9. Звенья тела как рычаги | 36 |
| 1. Виды рычагов в биокинематических цепях (36). 2. Условия сохранения равновесия и движения звеньев как рычагов (37). 3. «Золотое правило» механики в движениях человека (38). | |
| <i>Биодинамика мышц</i> | 39 |
| § 10. Свойства мышц | — |
| 1. Механические свойства мышц (39). 2. Проявление активности мышц (41). | |
| § 11. Виды работы мышц | 42 |
| 1. Сила и результат тяги мышц (42). 2. Разновидности работы мышц (44). | |
| § 12. Групповые взаимодействия мышц | 45 |
| 1. Опорные и рабочие напряжения (45). 2. Функциональные группы мышц (46). | |

| | |
|---|----|
| <i>Биомеханические системы</i> | 48 |
| § 13. Строение биомеханической системы | 49 |
| 1. Звенья биокинематических цепей (49). 2. Механизмы соединений (49). 3. Мышечные синергии (50). | |
| § 14. Свойства биомеханической системы | 50 |
| 1. Энергия в биомеханической системе (50). 2. Приспособительная активность (51). | |
| § 15. Особенности режима движений биомеханической системы | 52 |
| 1. Статический режим (52). 2. Динамические режимы (52). 3. Преобразования биопотенциальной энергии (53). | |
| Глава III. Характеристика движений человека | 57 |
| <i>Кинематические характеристики</i> | 58 |
| § 16. Системы отсчета расстояния и времени | — |
| 1. Системы отсчета расстояния (58). 2. Системы отсчета времени (60). | |
| § 17. Пространственные характеристики | 61 |
| 1. Координаты точки, тела и системы (61). 2. Перемещение точки, тела и системы (62). 3. Траектория точки (63). | |
| § 18. Временные характеристики | 64 |
| 1. Момент времени (65). 2. Длительность движения (65). 3. Темп движений (65). 4. Ритм движений (65). | |
| § 19. Пространственно-временные характеристики | 67 |
| 1. Скорость точки и тела (67). 2. Ускорение точки и тела (68). | |
| § 20. Кинематические особенности движений человека | 69 |
| 1. Составные движения (69). 2. Направление движений человека (71). | |
| <i>Динамические характеристики</i> | 71 |
| § 21. Инерционные характеристики | 72 |
| 1. Понятие об инертности (72). 2. Масса тела (72). 3. Момент инерции тела (73). | |
| § 22. Силовые характеристики | 74 |
| 1. Сила и момент силы (74). 2. Импульс силы и импульс момента силы (76). 3. Работа силы и работа момента силы (76). 4. Действие силы (77). | |
| § 23. Силы, внешние относительно тела | 80 |
| 1. Сила тяжести и вес (81). 2. Силы инерции внешних тел (83). 3. Силы действия среды (85). 4. Реакция опоры (86). 5. Силы трения (87). 6. Силы упругой деформации (89). | |
| § 24. Силы, внутренние относительно тела | 89 |
| 1. Силы мышечной тяги (90). 2. Силы пассивного противодействия (91). | |
| § 25. Динамические особенности в движениях человека | 91 |
| 1. Действие сил на биокинематические цепи (91). 2. Геометрия масс тела (93). 3. Роль сил в движениях человека (96). | |
| Глава IV. Системы движений в физических упражнениях и их структура | 98 |
| <i>Двигательное действие как система движения</i> | — |
| § 26. Состав системы движений | — |
| 1. Пространственные элементы (98). 2. Временные элементы (99). 3. Подсистемы движений (99). | |

| | |
|---|-----|
| § 27. Структура системы движений | 100 |
| 1. Структура как способ взаимодействия (100). 2. Виды структур в системе движений (101). 3. Координация движений человека (105). 4. Ошибки в движениях (106). | |
| <i>Физические упражнения как управляемые системы</i> | 107 |
| § 28. Самоуправляемые системы | — |
| 1. Построение самоуправляемой системы (107). 2. Информация и ее передача (109). 3. Управление движениями в переменных условиях (112). | |
| § 29. Изменение систем движений при обучении и тренировке | 115 |
| 1. Формирование и перестройка структур системы движений (115). 2. Влияние возраста и половых различий на структуру движений (118). | |
| Часть вторая. БИОМЕХАНИКА ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ | 121 |
| Глава V. Биодинамика гимнастических упражнений | 123 |
| <i>Сохранение положения тела</i> | — |
| § 30. Условия равновесия тела и системы тел | 124 |
| 1. Силы, уравнивающиеся при сохранении положения (124). 2. Условия уравнивания действия сил (125). 3. Виды равновесия тела и его устойчивость (125). | |
| § 31. Сохранение и восстановление положения тела человека | 129 |
| 1. Условия устойчивости тела человека (129). 2. Управление сохранением положения (130). | |
| § 32. Разбор гимнастических положений тела | 130 |
| 1. Стойки (131). 2. Упоры (133). 3. Висы (134). | |
| § 33. Биодинамика осанки | 135 |
| 1. Статическая осанка (135). 2. Динамическая осанка (136). | |
| <i>Вращательные упражнения</i> | 137 |
| § 34. Движения тела человека и его звеньев вокруг оси | 138 |
| 1. Механизм вращательного движения (138). 2. Изменение вращательного движения (139). 3. Управление движениями вокруг оси (142). | |
| § 35. Разбор вращательных движений | 146 |
| 1. Подъем разгибом (146). 2. Переворот боком (146). 3. Соскок махом вперед (146). | |
| Глава VI. Биодинамика легкоатлетических перемещений | 148 |
| <i>Механизм отталкивания от опоры</i> | — |
| § 36. Взаимодействие тела легкоатлета с опорой | — |
| 1. Взаимодействие подвижных и опорных звеньев при отталкивании (148). 2. Работа движущих сил и изменение кинетической энергии при отталкивании (149). 3. Измерение угла отталкивания (150). | |
| § 37. Роль маховых движений | 152 |
| 1. Общая эффективность маховых движений (152). 2. Фазы маховых движений (152). 3. Использование упругой биопотенциальной энергии (154). | |
| <i>Шагательные действия</i> | 154 |
| § 38. Элементы шагательных движений | — |
| 1. Фазы шагательных движений (155). 2. Сопутствующие движения туловища (157). | |
| § 39. Скорость, длина, частота и ритм шагов | 158 |

| | |
|--|------------|
| § 40. Разбор легкоатлетических перемещений | 159 |
| 1. Прыжок в длину с разбега (159). 2. Спортивная ходьба (160). 3. Бег (161). | |
| Глава VII. Биодинамика передвижений на лыжах | 164 |
| <i>Условия скольжения</i> | <i>—</i> |
| § 41. Силы трения при передвижении на лыжах | — |
| 1. Динамическая сила трения (164). 2. Статическая сила трения (165). | |
| § 42. Влияние силы тяжести и сопротивления воздуха на тело лыжника | 167 |
| 1. Действие силы тяжести (167). 2. Действие сопротивления воздуха (168). | |
| § 43. Разбор стоек спуска и способов подъема | 168 |
| 1. Биодинамика стоек спуска (168). 2. Биодинамика способов подъема (170). | |
| <i>Механизм отталкивания лыжами и палками</i> | <i>171</i> |
| § 44. Условия эффективного отталкивания лыжей | — |
| 1. Отталкивание ногой (171). 2. Маховые движения (172). | |
| § 45. Условия эффективного отталкивания палками | 174 |
| 1. Отталкивание палками в попеременных ходах (174). 2. Отталкивание палками в одновременных ходах (174). | |
| § 46. Разбор попеременных и одновременных ходов | 175 |
| 1. Биодинамика попеременных ходов (175). 2. Биодинамика одновременных ходов (177). | |
| Глава VIII. Биодинамика плавания | 180 |
| <i>Взаимодействие тела пловца с водой</i> | <i>—</i> |
| § 47. Статическое действие водной среды | — |
| 1. Силы, приложенные к плавающему телу (180). 2. Уравновешивание тела пловца в воде (181). | |
| § 48. Динамическое взаимодействие тела пловца с водой | 182 |
| 1. Силы давления и трения в потоке (182). 2. Механизм динамического взаимодействия пловца с водой (184). | |
| <i>Гребковые движения</i> | <i>184</i> |
| § 49. Условия эффективности гребковых движений | — |
| 1. Форма и ориентация гребущих звеньев (184). 2. Траектория звеньев и распределение усилий (185). | |
| § 50. Механизм гребковых движений | 185 |
| 1. Гребковые движения руками (186). 2. Гребковые движения ногами (187). | |
| § 51. Разбор способов плавания | 187 |
| 1. Кроль (187). 2. Дельфин (189). | |
| Глава IX. Биодинамика спортивных игр | 191 |
| <i>Перемещения внешних тел</i> | <i>—</i> |
| § 52. Нарастивание скорости | — |
| 1. Суммирование движений (191). 2. Последовательность работы мышц (192). | |
| § 53. Способы передачи движения снаряду | 193 |
| 1. Механизм броска (193). 2. Ударное взаимодействие (193). | |

| | |
|--|-----|
| <i>Броски и удары</i> | 195 |
| § 54. Метательные движения | — |
| 1. Общие основы бросков (195). 2. Виды метательных движений (195). | |
| § 55. Ударные действия | 196 |
| 1. Фазы ударного действия (196). 2. Виды ударных действий (198). | |
| § 56. Разбор бросков мяча | 200 |
| 1. Броски мяча в баскетболе (200). 2. Броски мяча в игре в ручной мяч (201). | |
| § 57. Разбор ударов | 201 |
| 1. Удары по мячу в волейболе (201). 2. Удар по мячу в футболе (202). | |
| Глава X. Биомеханическое обоснование физических упражнений | 204 |
| § 58. Обоснование программы физического воспитания | — |
| 1. Оценка уровня физической подготовленности занимающихся (204). 2. Определение рационального способа выполнения движений (205). | |
| § 59. Обоснование процесса физического воспитания | 206 |
| 1. Оценка качества выполнения двигательных действий (207). 2. Обоснование подбора вспомогательных упражнений (207). 3. Установление эффективности процесса физического воспитания (209). | |
| § 60. Обоснование спортивной подготовки | 210 |
| 1. Обоснование спортивной техники (211) 2. Контроль при технической подготовке юных спортсменов (212). | |
| <i>Приложение</i> 1. Характеристики движений человека | 214 |
| 2. Лабораторные работы | 216 |
| Л и т е р а т у р а | 234 |

Дмитрий Дмитриевич ДОНСКОЙ

БИОМЕХАНИКА

Редакторы *В. Б. Коренберг, В. Л. Тульпо*
Художественный редактор *Т. А. Алябьева*
Технический редактор *М. М. Широкова*
Корректор *О. С. Захарова*

Сдано в набор 28/X 1974 г. Подписано к печати 15/IV 1975 г. 60 × 90^{1/16}. Бумага типограф. № 2. Печ. л. 15,00. Уч.-изд. л. 15,60. Тираж 24 тыс. экз. А11545.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета Совета Министров РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Саратовский ордена Трудового Красного Знамени полиграфический комбинат Росглавополиграфпрома Государственного комитета Совета Министров РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Саратов, ул. Чернышевского, 59.

Заказ № 216

Цена без переплета 44 коп.; переплет 21 коп.