

В. Л. Уткин

БИОМЕХАНИКА ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ

Допущено Гособразованием СССР
в качестве учебного пособия для студентов
факультетов физического воспитания
педагогических институтов и для институтов
физической культуры

ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ № 2114 «ФИЗИЧЕСКОЕ
ВОСПИТАНИЕ»

Москва «Просвещение» 1989

ББК 75.0
У84

Рецензенты:

доктор педагогических наук, профессор Д. Д. Донской;
доктор биологических наук, профессор И. М. Козлов

Уткин В. Л.

У84 Биомеханика физических упражнений: Учеб. пособие для студентов фак. физ. воспитания пед. ин-тов и для ин-тов физ. культуры по спец. № 2114 «Физ. воспитание». — М.: Просвещение, 1989. — 210 с.: ил.

ISBN 5-09-000946-5

В пособии рассматриваются вопросы общей, дифференциальной и частной биомеханики, в том числе ее предмет, задачи и содержание, основы технико-тактического мастерства, возрастные особенности двигательной деятельности, пути использования биомеханических знаний в физическом воспитании учащихся средней школы.

У $\frac{4309000000-432}{103(03)-89}$ 37—89

ББК 75.0

ISBN 5-09-000946-5

© Издательство «Просвещение», 1989

ОТ АВТОРА

Учебное пособие предназначено для студентов, изучающих биомеханику на факультетах физического воспитания педагогических институтов и на педагогических факультетах институтов физической культуры. Прослушав курс биомеханики и проштудировав пособие, будущий учитель:

1) ознакомится с биомеханическими основами техники двигательных действий и тактики двигательной деятельности;

2) вооружится теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для научно обоснованного осуществления учебного и тренировочного процесса, соревновательной и спортивно-прикладной деятельности в физическом воспитании, спорте и массовой физкультуре.

Осознание чрезвычайной сложности и вместе с тем познаваемости двигательной деятельности, ознакомление с теоретическими концепциями современной биомеханики, овладение основами системного подхода к анализу сложных явлений, освоение методов моделирования и оптимизации двигательной деятельности — все это не только расширяет профессиональные знания, умения и навыки будущего учителя, но и формирует специфический стиль мышления, необходимый для целенаправленного и эффективного преобразования окружающей действительности.

Учебное пособие состоит из двух разделов.

В первый раздел (общая и дифференциальная биомеханика) включены темы, посвященные задачам и содержанию биомеханики, описанию двигательного аппарата человека, методам биомеханического контроля, биомеханическим аспектам двигательных качеств, основам технико-тактического мастерства, возрастным и половым особенностям двигательной деятельности. Первый раздел завершается рассмотрением дидактического арсенала современной биомеханики и ее возможностей в физическом воспитании учащихся.

Второй раздел (частная биомеханика) знакомит с биомеханическими закономерностями упражнений, входящих в программу физического воспитания в школе (в том числе ходьба и бег, прыжки и метания, лыжи, плавание и т. д.), а также с биомеханическими основами общеразвивающих гимнастических упражнений, стрельбы и туризма.

Разделы состоят из глав, соответствующих тематике курса. Каждая глава заканчивается вопросами и кроссвордом для самоконтроля знаний. В текст вплетены вопросы и задания, обращенные к читателю и помогающие ему проверить и закрепить полученные знания. Здесь от читателя потребуются любознательность и труд. Ведь известно, что научить ничему нельзя, можно только помочь научиться.

Автор тщательно проанализировал ранее изданные учебники и учебные пособия по биомеханике и кинезиологии (см. список литературы) и постарался заимствовать из них все лучшее. Кроме того, были использованы:

— труды Н. А. Бернштейна, Х. Х. Гросса, В. С. Гурфинкеля, В. М. Зациорского с соавторами, И. М. Сеченова, Р. Б. Хальянда, Х. А. Янсона, Johnson, Nelson, Low, Margaria с соавторами и др.;

— обзоры по биомеханике из серии монографий «Биомеханика — спорту» и ряда других отечественных и зарубежных изданий.

Эти сведения изложены популярно. Для их понимания достаточно знаний, полученных в средней школе и при изучении курса анатомии человека.

Биомеханику считают сложной наукой, требующей хорошей математической подготовки и потому недоступной массовому читателю. Но о закономерностях движений можно говорить и простым общедоступным языком. Учитывая сказанное, автор настоящей книги стремился написать ее подобно учебнику статики Монжа — «не батареею формул, а живой текст, обращенный к практикам». Ведь будущим учителям физкультуры «нужна не стерильная строгость доказательств и выкладок, а правильность суждений и продуктивность рекомендаций»¹.

В основу учебного пособия положена концепция оптимизации двигательной деятельности, стремление к красоте, точности, экономичности, производительности, безопас-

¹ Цитата со с. 42 книги В. П. Демьянова «Геометрия и марсельеза», посвященной творчеству Гаспара Монжа — знаменитого французского математика и общественного деятеля (М., 1979).

ности. Этим настоящее учебное пособие как бы принимает эстафету у предыдущего (Д. Д. Донской, 1975), в основу которого положен системный подход к биомеханическому обоснованию двигательных действий. Ведь системный подход только тогда плодотворен, когда четко определены цели, т. е. критерии оптимальности двигательной деятельности.

Принятая в учебном пособии терминология в основном соответствует рекомендациям Комитета научно-технической терминологии Академии наук СССР. Небольшие изменения и дополнения вызваны отличительными особенностями биомеханики по сравнению с теоретической механикой и стремлением сделать текст пособия как можно более понятным.

Автор благодарен профессорам В. М. Зациорскому, А. А. Гладышевой, Х. Х. Гроссу, Д. Д. Донскому, И. М. Козлову, Б. С. Кулаеву за полезные консультации и возможность ознакомиться с неопубликованными результатами исследований и выражает признательность своим ученикам и сотрудникам за помощь в подготовке рукописи к печати.

Часть первая

ОБЩАЯ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ БИОМЕХАНИКА

Изучение общей и дифференциальной биомеханики обеспечивает знание основных закономерностей строения двигательного аппарата, двигательных качеств и двигательной деятельности людей разного возраста. На этой основе базируется материал второго раздела, посвященного технике и тактике выполнения различных физических упражнений.

ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ В БИОМЕХАНИКУ

Первая наша задача состоит в том, чтобы заняться той великолепной машиной, которая нам близка, — человеческим организмом. Эта машина обладает роскошью механики — автоматизмом и быстротой включения. Ее ли не изучать? В человеческом организме есть мотор, «передача», амортизаторы, есть тончайшие регуляторы и даже манометры. Все это требует изучения и использования. Должна быть особая наука — биомеханика. Эта наука может и не быть узко «трудовой», она должна граничить со спортом, где движения сильны, ловки и в то же время воздушно легки, артистичны.

А. К. Гастев

Биомеханика — учение о двигательных возможностях и двигательной деятельности человека и животных.

Термин биомеханика составлен из двух греческих слов: *bios* — жизнь и *texane* — орудие. Как известно, механика — это раздел физики, изучающий механическое движение и механическое взаимодействие материальных тел. Отсюда понятно, что биомеханика — это раздел науки, изучающий двигательные возможности и двигательную деятельность живых существ.

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

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

И. М. Сеченов (1829—1905 гг.), П. Ф. Лесгафт (1837—1930 гг.), А. А. Ухтомский (1875—1942 гг.) и основоположник отечественной биомеханической школы Н. А. Бернштейн (1896—1966 гг.) много сделали для развития биомеханики труда и спорта. Кроме того, в последние десятилетия возникли и развиваются:

- инженерная биомеханика, основные достижения которой связаны с роботостроением;

- медицинская биомеханика, исследующая причины, последствия и способы профилактики травматизма, прочность опорно-двигательного аппарата, вопросы протезирования;

- эргономическая биомеханика, изучающая взаимодействие человека с окружающими предметами с целью их оптимизации.

Но центральным разделом биомеханики остается биомеханика физических упражнений. Она изучает двигательную деятельность человека во время спортивных тренировок и соревнований и в процессе занятий массовыми и оздоровительными формами физической культуры, в том числе на уроках физкультуры в школе. Непрерывно совершенствуясь, биомеханика физических упражнений постепенно преобразуется в биомеханику двигательной активности, охватывающую все стороны двигательной деятельности человека¹.

«Здание» современной биомеханики состоит как бы из трех «секций» и трех «этажей» (рис. 1).

¹ В дальнейшем биомеханику физических упражнений будем называть просто биомеханикой.

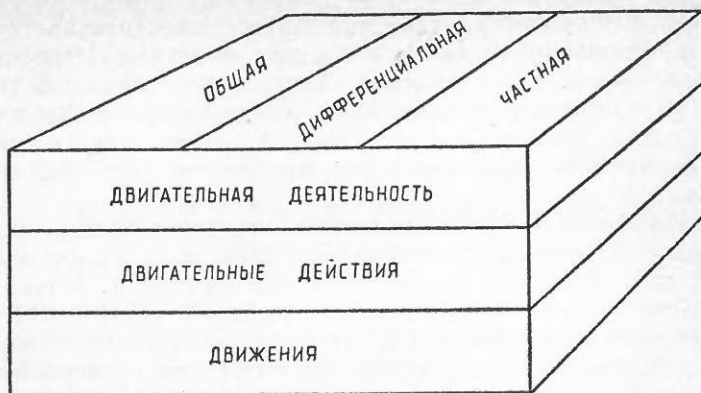


Рис. 1. Архитектоника современной биомеханики

Биомеханика делится на общую, дифференциальную и частную.

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

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

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

На трех «этажах» (уровнях) биомеханики изучают: движения — двигательные действия — двигательную деятельность. На первом уровне фактические данные для исследования движений добываются чаще всего в экспериментах с изолированными мышцами и другими частями тела животных.

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

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

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

Более других медико-биологических и педагогических дисциплин биомеханика использует достижения электронно-вычислительной техники.

Но главное — биомеханика служит связующим звеном между теорией и практикой физического воспитания, спорта и массовой физической культуры. Опираясь на знание биомеханики, педагогу легче учить своих воспитанников. Но для этого необходимо уметь анализировать двигательную деятельность, или, говоря на профессиональном языке, читать движения. Здесь можно провести аналогию с музыкой. Неспециалист воспринимает фонограмму музыкального произведения эмоционально. А профессионал-музыкант различает голоса разных инструментов, тонко оценивает согласованность их звучания, замечает ошибки и, кроме того, может «мысленно услышать» звуки, записанные на нотных линейках. Так и специалист по физическому воспитанию должен уметь «мысленно увидеть» движение, если зарегистрированы его характеристики (траектория, скорость, сила и т. д.).

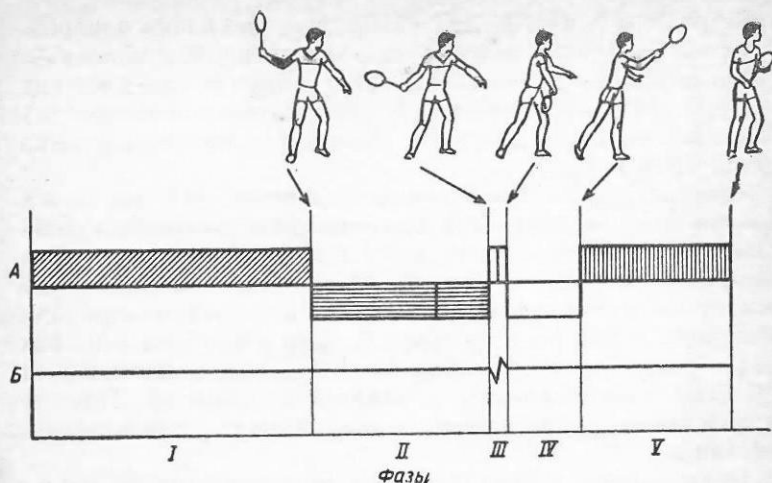


Рис. 2. Фазовый состав ударного действия в теннисе (по Л. С. Зайцевой):

А — хронограмма; Б — тензометрическая отметка удара; I — фаза движения назад для замаха; II — фаза ускоренного движения ракетки вперед; III — фаза взаимодействия ракетки с мячом; IV — фаза замедленного движения ракетки вперед; V — фаза возвращения ракетки в исходное положение

Процедура анализа двигательной деятельности (биомеханического анализа) состоит из следующих этапов:

1. Изучение внешней картины двигательной деятельности. Прежде всего выясняют, из каких двигательных действий она состоит и в каком порядке действия следуют друг за другом. Например, школьный урок физической культуры состоит из ряда упражнений. Нужно учитывать, что характер, продолжительность и интенсивность предшествующих упражнений оказывают влияние на качество выполнения последующих.

Изучая внешнюю картину двигательной деятельности, регистрируют кинематические характеристики (см. в главе 3). Особенно важно знать продолжительность отдельных частей движения (фаз), графическим отображением чего является хронограмма. Хронограмма двигательного действия характеризует технику (рис. 2), а хронограмма двигательной деятельности — первое, на что обращают внимание при анализе спортивной тактики.

2. Выяснение причин, вызывающих и изменяющих движения. Они не доступны визуальному контролю, и для их анализа необходимо регистрировать динамические характеристики (см. в главе 3). Важнейшее

значение здесь имеют величины сил, действующих на человека извне и создаваемых его собственными мышцами.

3. Определение топографии работающих мышц. На этом этапе выявляется, какие мышцы и как участвуют в выполнении данного упражнения. Зная, какие мышцы преимущественно обеспечивают двигательную деятельность, к которой готовит себя человек, можно из множества физических упражнений отобрать способствующие развитию именно этих мышц и их координации.

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

Представление о том, какие мышцы задействованы в каждом упражнении, можно получить, регистрируя их

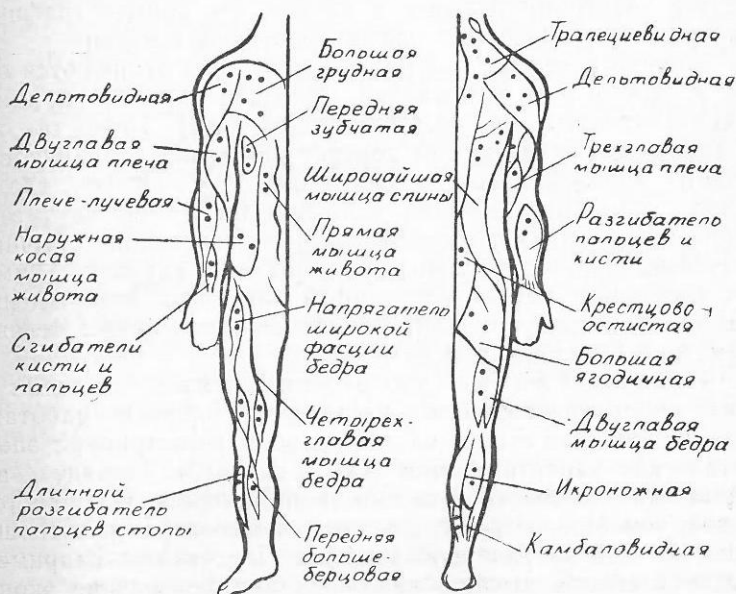


Рис. 3. Схематическое изображение мышц тела человека и мест наложения электромиографических электродов (по Вгоег, Каунсилмену, Барчаи, переработано)

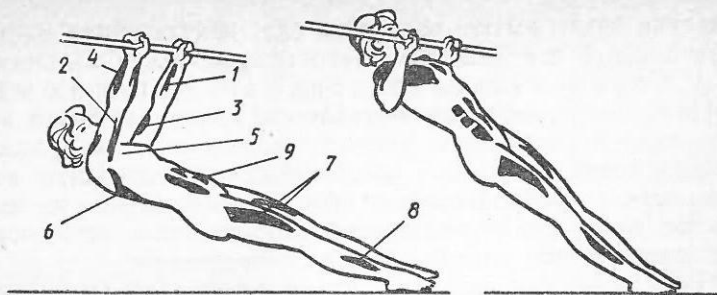


Рис. 4. Граничные позы при подтягивании в вися лежа на низкой перекладине (штриховкой обозначены наиболее активные мышцы):

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

электрическую активность. Чем интенсивнее работает мышца, тем выше ее электрическая активность и больше амплитуда электромиограммы.

На рис. 3 показаны места наложения электродов при записи электромиограммы, а на рис. 4 — пример графического изображения топографии работающих мышц.

Хорошо известно, что разные движения отличаются одно от другого по кинематике (внешней картине) и динамике (характеру силовых взаимодействий). Точно так же и электромиографический портрет движений неодинаков в разных упражнениях. Но, как пишет Р. С. Персон, «даже весьма сложные движения, если они достаточно автоматизированы (например, ходьба и другие локомоции, обычные бытовые, профессиональные и спортивные движения), имеют более или менее постоянный рисунок возбуждения мышц не только при повторении движения одним человеком, но и у разных людей»¹.

4. Определение энергетических затрат и того, сколь целесообразно расходуется энергия работающих мышц. Для ответа на эти вопросы регистрируют энергетические характеристики (см. в главе 3). Наряду с величинами энергозатрат важна экономичность, которая тем выше, чем больше доля полезных энергозатрат по отношению ко всей затраченной энергии. Подсчитано, например, что у стайеров высшей квалификации повышение эконо-

¹ Персон Р. С. Электромиография в исследованиях человека. — М., 1969. — С. 137.

мичности бега на 20% перемещает бегуна в списке лучших с 10-го на 1-е место.

5. Выявление оптимальных двигательных режимов (наилучшей техники двигательных действий и наилучшей тактики двигательной деятельности) осуществляется на заключительном этапе биомеханического анализа. Здесь же оценивается степень соответствия реально имеющих место и оптимальных вариантов техники и тактики.

Оптимальным (от лат. *optimus* — наилучший) называется наилучший вариант из всех возможных. В спорте (а в последнее время и в оздоровительной физкультуре) постоянно идет поиск оптимальных вариантов техники и тактики и определение степени соответствия реально наблюдаемого двигательного режима оптимальному. Тем самым решается задача оптимизации двигательной деятельности или ее рационализации (если не удастся достичь идеала, но можно к нему приблизиться).

Оптимизацией называют выбор наилучшего варианта из числа возможных. Но что такое наилучший вариант двигательной деятельности? Общего ответа на этот вопрос не существует, поскольку все зависит от конкретной ситуации и поставленной цели. Так, человек, спасающийся от преследователей, не думает о красоте и экономичности. Главное — бежать быстро. Другое дело, гимнастка, выполняющая вольные упражнения. Она стремится двигаться как можно красивее, в соответствии с эстетическими канонами своего вида спорта. В этих ситуациях различны цели людей. И потому неодинаковы критерии оптимальности, т. е. показатели, используемые для оценки степени достижения поставленной цели (рис. 5).

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

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



Рис. 5. Критерии оптимальности двигательной деятельности

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

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

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

Безопасность тем выше, чем меньше вероятность травмы.

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

Функциональный подход позволяет констатировать те или иные несовершенства техники и тактики. На-

пример, на уроке физкультуры можно увидеть, что техника подтягивания у многих отличается от эталонной, рекомендованной в комплексе ГТО. Но как ее исправить? Функциональный подход не дает ответа на этот вопрос. На его знамени написано: **овладевать процессом управления без полного раскрытия его внутренней природы.** Понятно, что такой путь ненадежен. Не имея ясных рекомендаций для устранения недочетов в технике и тактике, преподаватель вынужден действовать наугад.

Системно-структурный подход дает более конкретные рекомендации. Педагог, применяющий при обучении своих учеников системно-структурный подход, стремится к познанию состава и структуры двигательной деятельности, т. е. к ответу на вопросы, из каких элементов она состоит и как они связаны между собой. Кроме того, выясняют внутренние механизмы, т. е. стремятся ответить на вопрос, почему двигательные действия выполнены именно так, а не иначе. Наиболее широко распространенным приемом системно-структурного подхода является выполняемое по определенным правилам разделение двигательного действия на части («фазы») (см. рис. 2). В главе 6 рассказывается об этих правилах.

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

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

В современной биомеханике гармонично переплетаются идеи и методы оптимизации двигательной деятельности, функционального и системно-структурного подходов, автоматизированного контроля за технико-тактическим мастер-

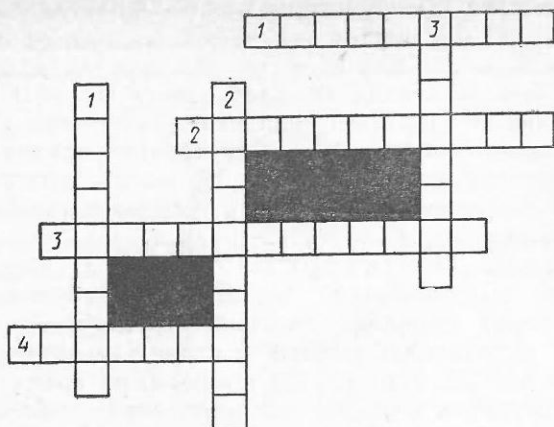


Рис. 6. Кроссворд.

По горизонтали. 1. Основоположник отечественной биомеханической школы. 2. Наука о двигательных возможностях и двигательной деятельности человека и животных. 3. Критерий оптимальности.

4. Автор первой книги по биомеханике.

По вертикали. 1. Способ взаимосвязи между элементами системы. 2. Раздел биомеханики, изучающий внешнюю картину движений.

3. Критерий оптимальности.

ством, моделирования техники и тактики на электронно-вычислительных машинах. Но главным остается мысль и труд исследователя, постигающего закономерности движений, и педагога, который использует эти достижения в учебном и тренировочном процессах.

Контрольные вопросы

1. Что изучает биомеханика?
2. Каковы основные разделы биомеханики?
3. В чем различия между такими понятиями, как «движение», «двигательное действие» и «двигательная деятельность»?
4. Перечислите основные этапы биомеханического анализа.
5. Что такое оптимизация двигательной деятельности?
6. Какие критерии оптимальности двигательной деятельности вам известны?
7. В чем заключается главное отличие функционального подхода от системно-структурного?
8. Что такое топография работающих мышц?

9. Приведите примеры ситуаций из практики физического воспитания и спорта, когда необходимо биомеханическое обоснование:

- а) техники двигательных действий;
- б) тактики двигательной деятельности.

10. Решите кроссворд (рис. 6).

ГЛАВА 2. ДВИГАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ ЧЕЛОВЕКА

Наука механика потому столь благородна и полезна более всех прочих наук, что, как оказывается, все живые существа, имеющие способность к движению, действуют по ее законам.

Леонардо да Винчи

Познай себя!

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

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

ГЕОМЕТРИЯ МАСС ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Геометрией масс называется распределение масс между звеньями тела и внутри звеньев. Геометрия масс количественно описывается масс-инерционными характеристиками.

ками. Важнейшие из них — масса, радиус инерции, момент инерции и координаты центра масс.

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

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

Массой определяются гравитационные свойства тела. Вес тела (в Ньютонах) $P = m \cdot g$, где $g = 9,8 \frac{м}{с^2}$ — ускорение свободнопадающего тела.

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

$$J = mR_{ин}^2,$$

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

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

В человеческом теле около 70 звеньев. Но столь подробного описания геометрии масс чаще всего и не требуется. Для решения большинства практических задач достаточно 15-звенной модели человеческого тела (рис. 7). Понятно, что в 15-звенной модели некоторые звенья состоят из нескольких элементарных звеньев. Поэтому такие укрупненные звенья правильнее называть сегментами.

Цифры на рис. 7 верны для «среднего человека», они получены путем усреднения результатов исследования многих людей. Индивидуальные особенности человека, и в первую очередь масса и длина тела, влияют на геометрию масс.

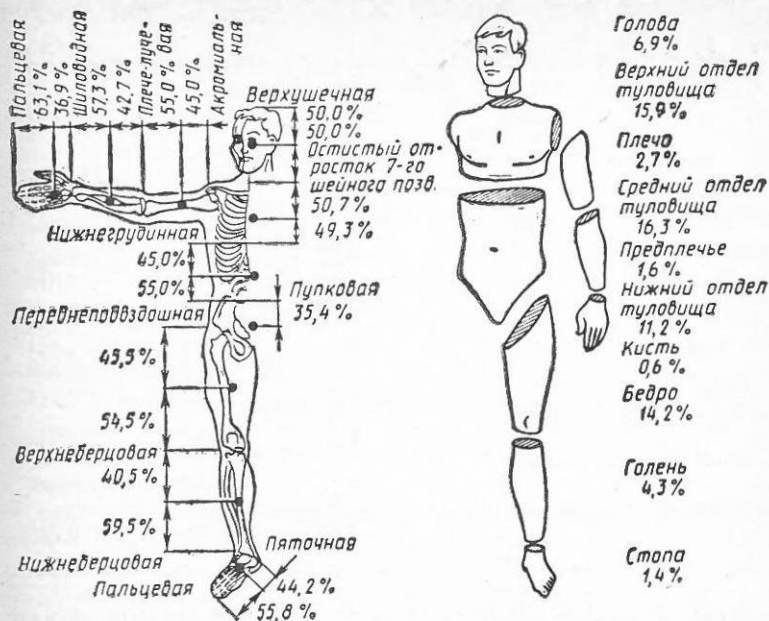


Рис. 7. 15 — звенная модель человеческого тела:

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

В. Н. Селуянов установил, что массы сегментов тела можно определить с помощью следующего уравнения:

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

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

Примечание. Величины коэффициентов округлены и верны для взрослого мужчины.

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

Масса кисти = $-0,12 + 0,004 \times 60 + 0,002 \times 170 = 0,46$ кг. Зная, каковы массы и моменты инерции звеньев тела и где

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

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

расположены их центры масс, можно решить много важных практических задач. В том числе:

— определить количество движения, равное произведению массы тела на его линейную скорость ($m \cdot v$);

— определить кинетический момент, равный произведению момента инерции тела на угловую скорость ($J\omega$); при этом нужно учитывать, что величины момента инерции относительно разных осей неодинаковы;

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

— определить степень устойчивости тела и т. д.

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

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

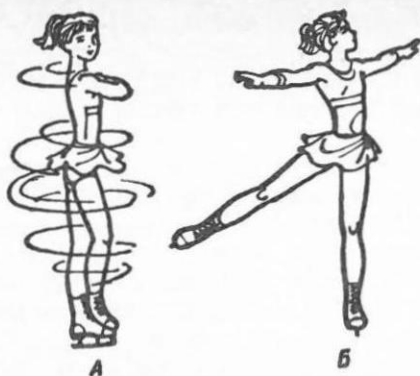


Рис. 8. Замедление вращения при изменении позы:
 А — меньшая; Б — большая величина радиуса инерции и момента инерции, который пропорционален квадрату радиуса инерции ($I = mR_{ин}^2$)

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

ЗВЕНЬЯ ТЕЛА КАК РЫЧАГИ И МАЯТНИКИ

Биомеханические звенья представляют собой своеобразные рычаги и маятники.

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

Задание: найдите рычаг первого рода на рис. 9, А.

Рычаг находится в равновесии, если равны моменты противодействующих сил (см. рис. 9, А):

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

где F_1 — сила тяжести удерживаемого груза (силой тяжести предплечья пренебрегаем); l_1 — длинное плечо рычага;

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

Рычажное устройство двигательного аппарата дает человеку возможность выполнять дальние броски, сильные удары и т. п. Но ничто на свете даром не дается. Мы выигрываем в скорости и мощности движения ценой увеличения силы мышечного сокращения. Например, для того чтобы, сгибая руку в локтевом суставе, перемещать груз массой 1 кг (т. е. с силой тяжести 10 Н) так, как показано на рис. 9, А, двуглавая мышца плеча должна развить силу 100—200 Н.

«Обмен» силы на скорость тем более выражен, чем больше соотношение плеч рычага. Проиллюстрируем это важное положение примером из гребли (рис. 10). Все точки весла-тела, движущегося вокруг оси, имеют одну и ту же угловую скорость $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$. Но их линейные скорости не-

одинаковы. Линейная скорость (v) тем выше, чем больше радиус вращения (r): $v = \omega \cdot r$. Следовательно, для увеличения скорости нужно увеличивать радиус вращения. Но тогда придется во столько же раз увеличить и силу, прикладываемую к веслу. Именно поэтому длинным веслом

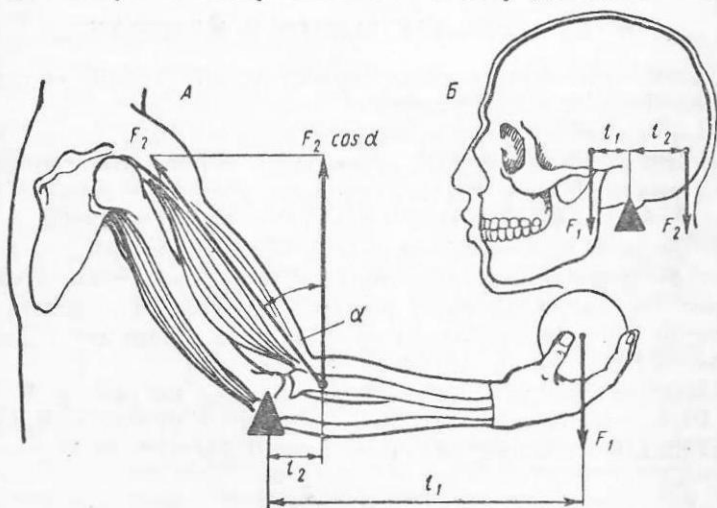


Рис. 9. Примеры рычагов тела человека:

А — предплечье-рычаг второго рода; Б — голова-рычаг первого рода

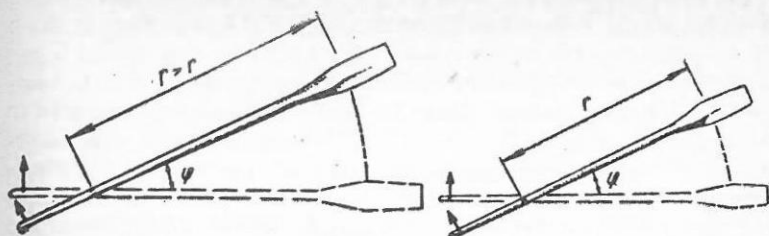


Рис. 10. При одинаковом угловом перемещении (φ) и угловой скорости $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ траектория (показана пунктиром) тем длиннее, прикладываемая к веслу сила (показана стрелками) тем больше и линейная скорость $V = \omega r$ тем выше, чем больше радиус вращения (r)

труднее грести, чем коротким, бросить тяжелый предмет на дальнюю дистанцию труднее, чем на близкую, и т. д. Об этом знал еще Архимед, руководивший обороной Сиракуз от римлян и изобретавший рычажные приспособления для метания камней.

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

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

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

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

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

Замечено, что при наиболее экономичном сочетании частоты и длины шагов или гребков человек демонстрирует существенно повышенную физическую работоспособность. Это полезно учитывать не только при тренировке спорт-

сменов, но и при проведении физкультурных занятий в школах и группах здоровья.

Любознательный читатель может спросить: чем объясняется высокая экономичность движений, выполняемых с резонансной частотой? Это происходит потому, что колебательные движения верхних и нижних конечностей сопровождаются рекуперацией механической энергии (от лат. *recuperatio* — получение вновь или повторное использование). Простейшая форма рекуперации — переход потенциальной энергии в кинетическую, затем снова в потенциальную и т. д. (рис. 11). При резонансной частоте движений такие преобразования осуществляются с минимальными потерями энергии. Это означает, что метаболическая энергия, однажды созданная в мышечных клетках и перешедшая в форму механической энергии, используется многократно — и в этом цикле движений, и в последующих. А если так, то потребность в притоке метаболической энергии уменьшается.

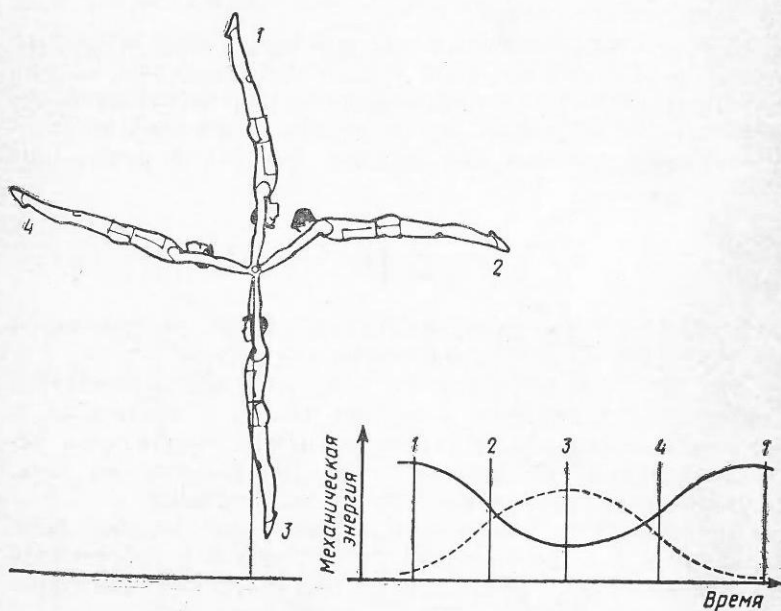


Рис. 11. Один из вариантов рекуперации энергии при циклических движениях: потенциальная энергия тела (сплошная линия) переходит в кинетическую (пунктир), которая вновь преобразуется в потенциальную и способствует переходу тела гимнаста в верхнее положение; цифры на графике соответствуют пронумерованным позам спортсмена

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

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОСТЕЙ И СУСТАВОВ

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

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

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

Различают четыре вида механического воздействия на кость: растяжение, сжатие, изгиб и кручение.

При растягивающей продольной силе кость выдерживает напряжение 150 Н/мм^2 . Это в 30 раз больше, чем давление, разрушающее кирпич. Установлено, что прочность кости на растяжение выше, чем у дуба, и почти равна прочности чугуна.

При сжатии прочность костей еще выше. Так, самая массивная кость—большеберцовая выдерживает вес 27 человек. Предельная сила сжатия составляет 16 000—18 000 Н.

При изгибе кости человека также выдерживают значительные нагрузки. Например, силы 12 000 Н (1,2 т) недостаточно, чтобы сломать бедренную кость. Подобный вид деформации широко встречается и в повседневной жизни, и в спортивной практике. Например, сегменты верхней конечности деформируются на изгиб при удержании положения «крест» в висте на кольцах.

При движениях кости не только растягиваются, сжимаются и изгибаются, но также и скручиваются. Например, при ходьбе человека моменты скручивающих сил могут достигать 15 Нм. Эта величина в несколько раз меньше предела прочности костей. Действительно, для разрушения,

Величины силы, действующей на головку бедренной кости
(по Х. А. Янсону, 1975 г., переработано)

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

например, большеберцовой кости момент скручивающей силы должен достичь 30—140 Нм¹.

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

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

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

Примечание. Еще выше силы, действующие на коленный сустав; при массе тела 90 кг они достигают: при ходьбе 7000 Н, при беге 20 000 Н.

¹ Сведения о величинах сил и моментов сил, приводящих к деформации костей, приблизительны, а цифры, по-видимому, занижены, поскольку получены преимущественно на трупном материале. Но и они свидетельствуют о многократном запасе прочности человеческого скелета. В некоторых странах практикуется прижизненное определение прочности костей. Такие исследования хорошо оплачиваются, но приводят к увечьям или гибели испытуемых и потому антигуманны.

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

БИОМЕХАНИКА МЫШЦ

Скелетные мышцы являются основным источником механической энергии человеческого тела. Их можно сравнить с двигателем. На чем же основан принцип действия такого «живого двигателя»? Что приводит в действие мышцу и какие свойства она при этом проявляет? Как мышцы взаимодействуют между собой? И наконец, какие режимы функционирования мышц являются наилучшими? Ответы на эти вопросы вы найдете в настоящем разделе.

Биомеханические свойства мышц

К ним относятся сократимость, а также упругость, жесткость, прочность и релаксация.

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

Для рассказа о механических свойствах мышцы воспользуемся моделью (рис. 12), в которой соединительнотканые образования (параллельный упругий компонент) имеют механический аналог в виде пружины (1). К соединительнотканым образованиям относятся: оболочка мышечных волокон и их пучков, саркоlemma и фасции.

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

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

Модель отображает упругие свойства мышцы, т. е. ее способность восстанавливать первоначальную длину после устранения деформирующей силы. Существование упругих свойств объясняется тем, что при растягивании в мышце возникает энергия упругой деформации. Здесь мышцу можно сравнить с пружиной или с резиновым жгутом: чем сильнее растянута пружина, тем большая энергия в ней запасена. Это явление широко используется в спортивной практике. Например, в хлесте предва-

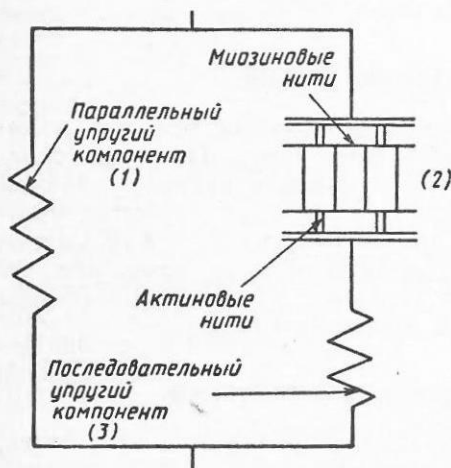


Рис. 12. Трехкомпонентная модель мышцы:
1 — параллельный упругий компонент; 2 — сократительный компонент; 3 — последовательный упругий компонент (по В. М. Задиорскому)

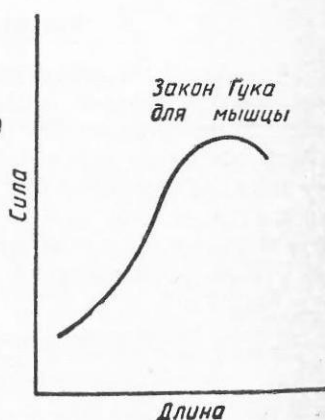


Рис. 13. Связь между силой тяги и длиной мышцы

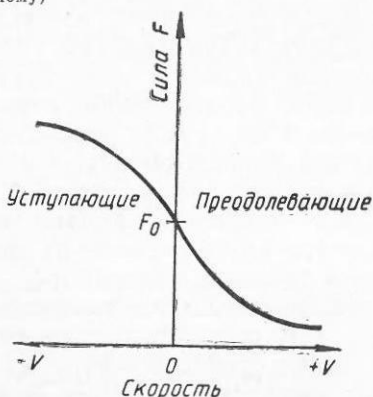


Рис. 14. Взаимосвязь между силой и скоростью мышечного сокращения (по А. Хиллу; Abbot)

рительное растягивание мышц приводит к растягиванию и параллельного, и последовательного упругого компонента. В них запасается энергия упругой деформации, которая в финальной части движения (метания, толкания и т. д.) преобразуется в энергию движения (кинетическую энергию).

По закону Гука для мышцы ее удлинение нелинейно зависит от величины растягивающей силы (рис. 13). Эта кривая (ее называют «сила — длина») является одной из характеристических зависимостей, описывающих закономерности мышечного сокращения. Другую характеристическую зависимость «сила — скорость» называют в честь изучавшего ее известного английского физиолога кривой Хилла¹ (рис. 14).

По характеристическим кривым определяют жесткость и прочность мышцы.

Жесткость — это способность противодействовать прикладываемым силам. Коэффициент жесткости определяется как отношение приращения восстанавливающей силы к приращению длины мышцы под действием внешней силы: $K_{ж} = \frac{\Delta F}{\Delta l}$ (Н/м).

Величина, обратная жесткости, называется податливостью мышцы. Коэффициент податливости: $K_{п} = \frac{\Delta l}{\Delta F}$ (м/Н) — показывает, насколько удлинится мышца при изменении внешней силы на единицу. Например, податливость сгибателя предплечья близка к 1 мм/Н.

Прочность мышцы оценивается величиной растягивающей силы, при которой происходит разрыв мышцы. Предельное значение растягивающей силы определяется по кривой Хилла (см. рис. 14). Сила, при которой происходит разрыв мышцы (в пересчете на 1 мм² ее поперечного сечения), составляет от 0,1 до 0,3 Н/мм². Для сравнения: предел прочности сухожилия около 50 Н/мм², а фасций около 14 Н/мм². Возникает вопрос: почему иногда рвется сухожилие, а мышца остается целой? По-видимому, это может происходить при очень быстрых движениях: мышца успевает самортизировать, а сухожилие нет.

Релаксация — свойство мышцы, проявляющееся в постепенном уменьшении силы тяги при постоянной длине

¹ Так принято сегодня называть эту важную зависимость. На самом деле А. Хилл изучал только преодолевающие движения (правую часть графика на рис. 14). Взаимосвязь между силой и скоростью при уступающих движениях впервые исследовал Abbot.

мышцы. Релаксация проявляется, например, при спрыгивании и прыжке вверх, если во время глубокого подседа человек делает паузу. Чем пауза длительнее, тем сила отталкивания и высота выпрыгивания меньше.

Режимы сокращения и разновидности работы мышц

Мышцы, прикрепленные сухожилиями к костям, функционируют в изометрическом и анизометрическом режимах (см. рис. 14).

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

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

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

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

У анизометрического режима две разновидности. В преодолевающем режиме мышца укорачивается в результате сокращения. А в уступающем режиме мышца растягивается внешней силой. Например, икроножная мышца спринтера функционирует в уступающем режиме при взаимодействии ноги с опорой в фазе амортизации, а в преодолевающем режиме — в фазе отталкивания.

Правая часть кривой Хилла (см. рис. 14) отображает закономерности преодолевающей работы, при которой возрастание скорости сокращения мышцы вызывает уменьшение силы тяги. А в уступающем режиме наблюдается обратная картина: увеличение скорости растяжения мышцы сопровождается увеличением силы тяги. Это является причиной многочисленных травм у спортсменов (например, разрыва ахиллова сухожилия у спринтеров и прыгунов в длину).

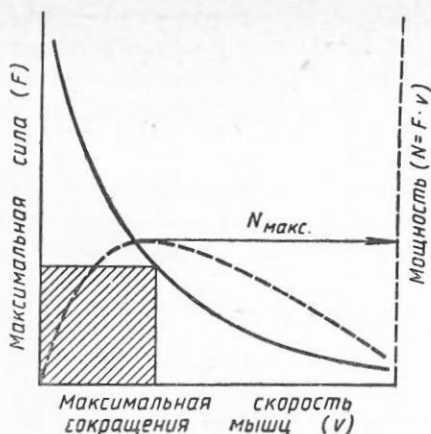


Рис. 15. Мощность мышечного сокращения в зависимости от проявляемой силы и скорости; заштрихованный прямоугольник соответствует максимальной мощности

Групповое взаимодействие мышц

Существуют два случая группового взаимодействия мышц: синергизм и антагонизм.

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

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

Мощность и эффективность мышечного сокращения

По мере увеличения скорости мышечного сокращения сила тяги мышцы, функционирующей в преодолевающем режиме, снижается по гиперболическому закону (см.

рис. 14). Известно, что механическая мощность равна произведению силы на скорость. Существуют сила и скорость, при которых мощность мышечного сокращения наибольшая (рис. 15). Этот режим имеет место, когда и сила, и скорость составляют примерно 30% от максимально возможных величин.

Наряду с режимом максимальной мощности представляет интерес и наиболее экономичный режим мышечного сокращения (см. в разделе «Частная биомеханика»).

Контрольные вопросы

1. Какими показателями характеризуется геометрия масс тела?

2. У кого из двух бегунов (рис. 16) левая нога имеет меньший радиус инерции и меньший момент инерции относительно тазобедренного сустава. Как это учитывается при технической подготовке бегунов?

3. При каком условии рычаг, изображенный на рис. 9, А, будет находиться в равновесии (объясните и напишите формулу)?

4. Какие показатели геометрии масс нужно знать, чтобы вычислить наиболее экономичный темп ходьбы? Насколько точным будет этот расчет?

5. Какова прочность костей и мышц?

6. Нарисуйте кривую Хилла и укажите на ней области, соответствующие преодолевающему, уступающему и изометрическому (удерживающему) режимам мышечного сокращения.

7. Объясните, почему один из двух вариантов выполнения «креста Азаряна» (из верхней и из нижней точки) легче осуществить, чем другой.

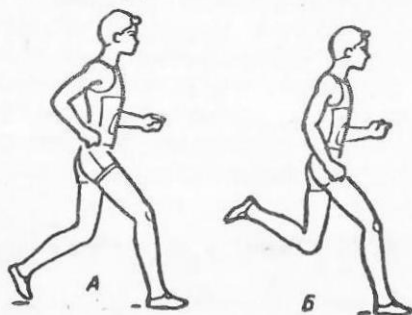


Рис. 16. Два варианта техники бега; при переносе ноги у бегуна Б угол в коленном суставе и момент инерции меньше, чем у бегуна А

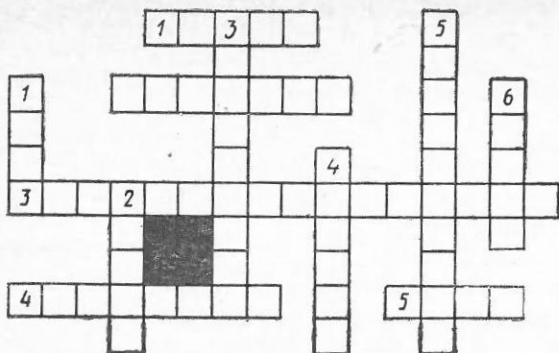


Рис. 17. Кроссворд.

По горизонтали. 1. Характеристика, показывающая, сколько вещества содержится в теле и какова инертность тела. 2. Укрупненное звено тела, включающее в себя несколько простейших звеньев. 3. Режим сокращения мышцы. 4. Показатель, характеризующий мышечное сокращение и достигающий максимума, когда сила и скорость сокращения мышцы близки к 30% от наибольших величин. 5. Естествоиспытатель, лауреат Нобелевской премии, изучавший взаимосвязь между силой и скоростью мышечного сокращения.

По вертикали. 1. Взаимное расположение частей тела. 2. Часть тела, расположенная между двумя суставами или между суставом и дистальным концом тела. 3. Число звеньев человеческого тела (ориентировочно). 4. Сокращенное наименование антагониста трехглавой мышцы плеча. 5. Свойство мышцы. 6. Вид механического воздействия на кость.

8. В каком режиме мышечного сокращения проявляется максимальная сила? Как это связано с опасностью получения травм?

9. При каком условии достигается наивысшая мощность мышечного сокращения?

10. Решите кроссворд (рис. 17).

ГЛАВА 3. ОСНОВЫ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точное знание немислимо без меры.

Д. И. Менделеев

От интуиции — к точному знанию!

Двигательное мастерство человека, его умение в любых условиях двигаться быстро, точно и красиво, зависит от

уровня физической, технической, тактической, психологической и теоретической подготовленности. Эти пять факторов культуры движений являются ведущими и в спорте, и в физическом воспитании школьников, и при занятиях массовыми формами физкультуры. Для совершенствования двигательного мастерства и даже для сохранения его на прежнем уровне необходим контроль за каждым из названных факторов.

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

1) о технике двигательных действий и тактике двигательной деятельности;

2) о выносливости, силе, скорости, ловкости и гибкости, должный уровень которых является необходимым условием высокого технико-тактического мастерства¹.

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

1) Что делает человек?

2) Насколько хорошо он делает это?

3) Благодаря чему он это делает?

Процедура биомеханического контроля соответствует следующей схеме:

контроль = тестирование (измерение) + оценивание результатов измерения или тестирования

ИЗМЕРЕНИЯ В БИОМЕХАНИКЕ

Человек становится объектом измерения с раннего детства. У новорожденного измеряют рост, вес, температуру тела, продолжительность сна и т. д. Позже, в школьном возрасте, в число измеряемых переменных включаются знания и умения. Чем взрослее человек, чем шире круг его интересов, тем многочисленнее и разнообразнее характеризующие его показатели. И тем труднее осуществить точные измерения. Как, например, измерить техническую и тактическую подготовленность, красоту движений, геометрию масс человеческого тела, силу, гибкость и т. п.? Об этом рассказывается в настоящем разделе.

¹ В англоязычной литературе по физическому воспитанию принят более широкий перечень двигательных качеств, в том числе способность выполнять упражнения на равновесие, танцевальные упражнения и т. д.

Шкалы измерений и единицы измерений

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

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

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

Шкала порядка возникает, когда составляющие шкалу числа упорядочены по рангам, но интервалы между рангами нельзя точно измерить. Например, знания по биомеханике или навыки и умения на уроках физкультуры оцениваются по шкале: «плохо» — «удовлетворительно» — «хорошо» — «отлично». Шкала порядка дает возможность не только установить факт равенства или неравенства измеряемых объектов, но и определить характер неравенства в качественных понятиях: «больше — меньше», «лучше — хуже». Однако на вопросы: «На сколько больше?», «На сколько лучше?» — шкалы порядка ответа не дают.

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

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

Шкала отношений самая точная. В ней числа не только упорядочены по рангам, но и разделены равными

интервалами — единицами измерения¹. Особенность шкалы отношений состоит в том, что в ней определено положение нулевой точки.

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

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

Биомеханические характеристики

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

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

¹ Основными единицами измерения в системе СИ (система интернациональная) являются: метр, килограмм, секунда и др. Из основных получаются все другие единицы. Например, единица скорости (м/с), единица ускорения (м/с²), единица силы (ньютон, $N = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$)

и т. д. Наряду с единицами системы СИ в практике биомеханического контроля используют и внесистемные единицы измерения: например, частоту шагов (или темп), гребков и других циклических движений измеряют числом движений в минуту $\left(\frac{1}{\text{мин}}\right)$, а не в секунду.

Но в большинстве движений человека поступательный и вращательный компоненты присутствуют одновременно, такие движения называются составными. Причем двигательный аппарат человека устроен так, что все движения (в том числе и поступательные) образуются из комбинаций вращательных движений в суставах (рис. 18).

Дадим определения биомеханическим характеристикам, включенным в таблицу 3. Но сначала расскажем о двух важных характеристиках, которые не вошли в таблицу, — о положении и траектории.

Положение любой точки тела (например, любого сустава) или положение спортивного снаряда (например, мяча) определяется координатами в той или иной системе координат. Наиболее популярна прямоугольная система координат, в которой положение материальной точки в пространстве описывается ее координатами на трех взаимно перпендикулярных осях (вертикальной и двух горизонтальных — продольной и поперечной) (рис. 19).

Задание для самопроверки знаний:

На рис. 19 определите координаты выделенных точек (центра масс головы и т. д.).

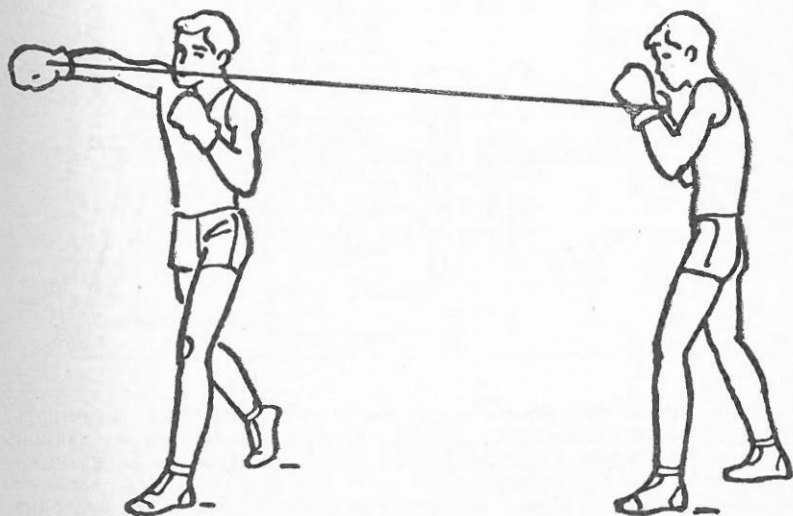


Рис. 18. Поступательные движения человеческого тела и его частей как результат вращательных движений; например, прямолинейное движение боксерской перчатки образуется из движений в локтевом, плечевом и тазобедренном суставах; прямая линия — траектория центра масс кисти правой руки в перчатке

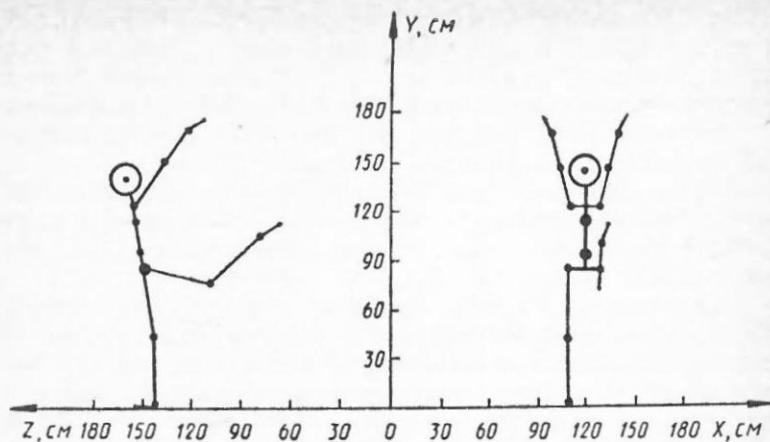


Рис. 19. Схематическое изображение (в прямоугольных координатах) гимнастки, выполняющей упражнение на равновесие: *справа* — вид спереди (фронтальная проекция); *слева* — вид сбоку (саггитальная проекция)

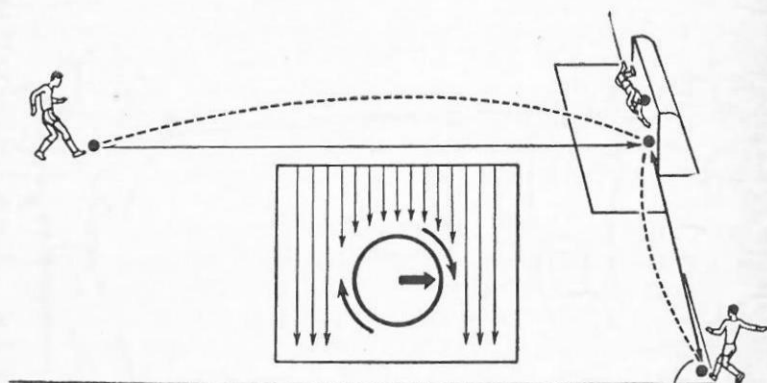


Рис. 20. Траектория полета мяча при ударе футболиста (пунктир); сплошной линией показано перемещение мяча (расстояние по прямой от ноги футболиста до линии ворот). Обратите внимание на возможность забить гол с углового удара, если «закрутить» мяч, как это показано в прямоугольном фрагменте рисунка. Крутясь, мяч приводит во вращение близлежащие слои воздуха (см. круговые стрелки). Их скорость складывается со скоростью воздушного потока справа от мяча и вычитается из нее слева от мяча. По закону Бернулли давление воздуха меньше там, где выше скорость. Поэтому возникает сила (одинарная стрелка), направленная в ту сторону, где давление меньше

Классификация биомеханических характеристик и их единицы измерения

Биомеханические характеристики

Кинематические		Энергетические		Динамические	
Для поступательного движения	Для вращательного движения	Для поступательного и вращательного движения		Для поступательного движения	Для вращательного движения
м	перемещение	град.	Работа, Дж	Масса, кг	Момент инерции, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$
с	длительность	с	Энергия, Дж	Сила, Н	Момент силы, Н·м (вращающий момент)
м/с	скорость	град./с	Мощность, Вт	Импульс силы, Нс	Импульс момента силы, Нмс
м/с ²	ускорение	град./с ²	Экономичность (коэффициент механической эффективности, %)		
1/мин	темп — ритм	1/мин —	Энергетическая стоимость, $\frac{\text{Дж}}{\text{м}}$, и пульсовая стоимость, $\frac{1}{\text{м}}$	Количество движения, $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$	Кинетический момент, $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$

При выполнении двигательного действия положение тела или спортивного снаряда изменяется. При этом их материальные точки движутся в пространстве по линиям, которые называются траекториями (рис. 20).

Траектория может иметь любую, сколь угодно сложную форму. В отличие от нее линейное перемещение (ΔS) — расстояние по прямой¹ между конечным и начальным положением тела. Линейное перемещение измеряется в единицах длины (метрах).

Угловое перемещение ($\Delta\varphi$) — угол поворота тела или отдельного сегмента. Угловое перемещение измеряется в градусах.

Задание для самоконтроля знаний: рассматривая рис. 18, приведите примеры линейного и углового перемещений. Затем придумайте другие примеры.

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

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

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

Ускорение характеризует быстроту изменения скорости:

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

$$\text{— угловое ускорение } \varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \left(\frac{\text{град}}{\text{с}^2} \right).$$

Получаемые в результате измерений и расчетов величины перемещения, скорости и ускорения зависят от принятой системы отсчета. Например, при беге скорость руки или ноги относительно беговой дорожки равна ее скорости относительно общего центра масс бегуна плюс или минус скорость общего центра масс относительно дорожки. Этот факт необходимо учитывать при определении механических энергозатрат и выявлении энергетически оптимальных режимов двигательной деятельности.

При изучении периодически повторяющихся движений (циклических) важно знать:

1) темп (n) — число движений в единицу времени;

¹ Точнее, вектор, поскольку, говоря о перемещении, необходимо указывать не только расстояние, но и направление.

2) длительность цикла (T) — интервал времени между одинаковыми фазами циклического движения.

Темп и длительность цикла связаны между собой соотношением $T = \frac{1}{n}$. Например, если брассист выполняет 50

циклов в минуту ($n = 50 \frac{1}{\text{мин}}$), то длительность цикла равна: $T = \frac{1}{50} \text{ мин} = 1,2 \text{ с}$.

Мы только что встретились с новым и очень важным понятием — фаза двигательного действия. Фазами называются временные элементы двигательных действий. Например, ударное действие теннисиста (см. рис. 2) состоит из пяти фаз, длительности которых обозначены $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \Delta t_4, \Delta t_5$. Соотношение длительностей фаз называется ритмом двигательного действия. Графическое изображение ритма называется хронограммой.

Фазовый анализ двигательной деятельности — один из самых полезных методов, применяемых при биомеханическом контроле. Определение длительностей фаз, ритма и построение хронограммы позволяют «читать» и «записывать» элементы двигательной деятельности подобно тому, как по нотам можно записывать и воспроизводить музыку. Тем самым возникает возможность документирования техники и тактики, запоминания и изучения лучших образцов, целенаправленного обучения.

Переходим к описанию динамических характеристик. В отличие от кинематических их невозможно оценить по внешней картине движений, на глаз. Здесь всегда требуется измерительная аппаратура. Динамические характеристики измеряют потому, что именно они помогают разобраться в сложных механизмах формирования движений и, следовательно, найти пути овладения ими, их совершенствования и исправления возможных ошибок. Ведь ошибки в кинематике (внешней картине движений) всегда есть следствие несвоевременных и нерациональных (недостаточных или чрезмерных) мышечных усилий и неумелого использования внешних сил.

Ускорение, приобретаемое телом, обратно пропорционально его инертности и прямо пропорционально действующей силе:

— линейное ускорение $a = \frac{F}{m}$;

— угловое ускорение $\varepsilon = \frac{m}{J} = \frac{F \cdot l}{m \cdot R_{\text{ин}}^2}$.

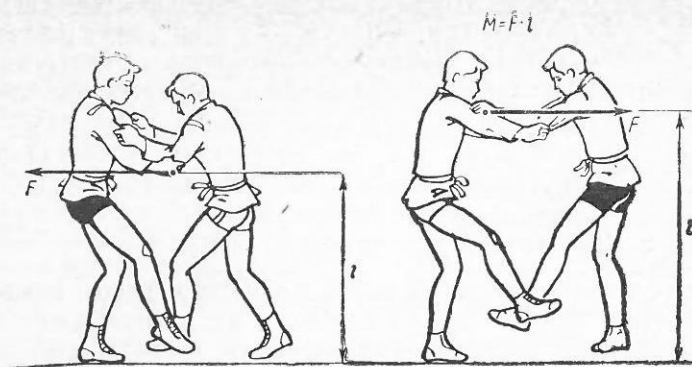


Рис. 21. Пример из борьбы, показывающий, что, чем длиннее плечо силы, тем больше момент силы $M = F \cdot e$, вызывающий круговое движение, в данном случае опрокидывающий момент (e)

Чтобы найти ускорение тела в поступательном движении, достаточно знать величины силы и массы. При вращательном движении ситуация сложнее. Во-первых, инертность вращающегося тела определяется не массой, а моментом инерции (см. в главе 2). Во-вторых, эффект действия силы в этом случае зависит не только от ее величины, но и от места приложения. Чем длиннее плечо силы — кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы, тем больше момент силы, или вращающий момент (M), равный произведению силы на ее плечо (рис. 21).

Поскольку ускорение есть приращение скорости в единицу времени ($a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ и $\epsilon = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$), приведенные выше формулы можно переписать следующим образом:

— для поступательного движения $\Delta v = \frac{F \Delta t}{m}$;

— для вращательного движения $\Delta \omega = \frac{M \Delta t}{J}$.

Здесь нам открывается закономерность, которую мы хорошо знаем в повседневной жизни, но не всегда используем при занятиях физкультурой и спортом. Она состоит в том, что эффект действия силы (в данном случае приращение скорости) зависит не только от величины силы, но и от продолжительности ее действия (Δt). В связи со сказанным еще две биомеханические характеристики получили «права гражданства» (рис. 22):

— импульс силы $\bar{F}\Delta t$;

— импульс момента силы $\bar{M}\Delta t$,

где $\Delta t = t_k - t_n$ — интервал времени от начала до окончания действия силы; $\bar{F}$ и $\bar{M}$ — средние величины силы и вращающего момента.

Переходим к рассмотрению энергетических характеристик. Большинство из них вычисляется из кинематических и динамических характеристик. Так, механическая работа есть произведение силы на перемещение:

$$A = F\Delta S.$$

Например, для того чтобы подняться по канату на высоту 5 м, мальчик с массой тела в 30 кг выполняет работу около 1500 джоулей:

$$30 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 5 \text{ м} \approx 300 \text{ Н} \cdot 5 \text{ м} = 1500 \text{ Дж}.$$

Если этот подъем длился 10 с, развиваемая мальчиком мощность равна $1500 \text{ Дж} : 10 \text{ с} = 150 \text{ Вт}$. Это значительная мощность (вспомните, как ярко светит такая электрическая лампочка).

Итак, мощность вычисляется по формуле

$$N = \frac{A}{\Delta t} = \frac{F\Delta S}{\Delta t} = F \cdot v.$$

Последний переход в преобразовании формулы особенно важен. Он дает возможность определить мощность коротких интенсивных движений (например, ударов по мячу, боксерских ударов и других ударных действий), когда механическую работу определить трудно, но можно измерить

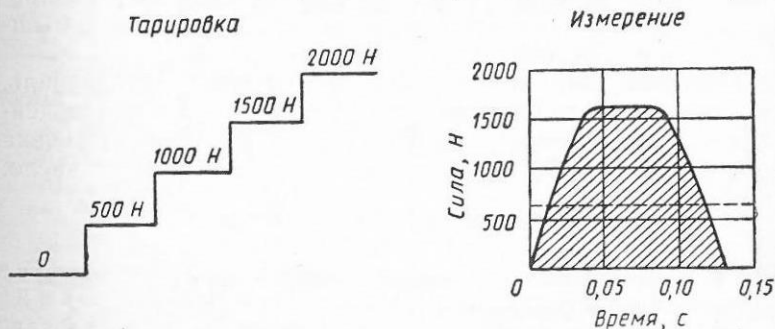


Рис. 22. Динамограмма отталкивания спринтера от стартовых колодок; импульс силы равен интегралу силы по времени, или произведению средней величины силы (пунктир) на продолжительность ее действия (площадь заштрихованной фигуры равна величине импульса силы); слева — тарировочный график, позволяющий отсчитывать величины силы в ньютонах

силу и скорость. Так, при ударе классного футболиста по мячу сила действия может достигать 400 Н, а скорость вылета мяча 30 м/с. В этом случае развиваемая мощность составляет 12 000 Вт. Образно говоря, при таком ударе на короткий миг зажигается 120 электрических лампочек, по 100 Вт каждая.

Совершаемая человеком механическая работа расходуется на увеличение потенциальной и кинетической энергии человеческого тела, спортивных снарядов и других предметов. Потенциальная энергия ($E_{\text{п}}$) и кинетическая энергия тела в поступательном ($E_{\text{к}}^{\text{пост}}$) и вращательном ($E_{\text{к}}^{\text{вр}}$) движениях определяются по формулам:

$$E_{\text{п}} = mgh; E_{\text{к}}^{\text{пост}} = \frac{mv^2}{2}; E_{\text{к}}^{\text{вр}} = \frac{J\omega^2}{2},$$

где $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободнопадающего тела, h — высота центра масс тела над поверхностью земли, v — линейная скорость, ω — угловая скорость, m — масса, J — момент инерции.

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

$$E_{\text{полн}} = mgh + \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}.$$

До сих пор речь шла о механической работе и мощности. Но, как известно, в форму механической энергии превращается меньшая часть энергии, образующейся в мышцах. Большая ее часть переходит в тепло.

Подобно тому как технические машины (автомобиль, тепловоз) характеризуются коэффициентом полезного действия, экономичность двигательного аппарата человека описывается рядом аналогичных показателей. В их числе:

$$\text{КМЭ} = \frac{A}{E} \cdot 100 \% = \frac{N}{\dot{E}} \cdot 100 \%,$$

где E — количество метаболической энергии¹, Дж; $\dot{E}$ — скорость ее расходования, Вт;

¹ Метаболическая энергия образуется в клетках нашего тела в результате трех типов биохимических реакций: креатинкиназной, анаэробного гликолиза и окислительного фосфорилирования. Подробнее об этом можно прочитать в учебниках по биохимии и физиологии, а также в научно-популярной литературе (например: Яковлев Н. Н. Химия движений. — Л., 1983).

— энергетическая стоимость метра пути или единицы полезной работы; для того чтобы определить энергетическую стоимость бега, нужно разделить скорость расходования метаболической энергии на скорость бега:

$$\text{ЭС}\left(\frac{\text{Дж}}{\text{м}}\right) = \frac{\dot{E}(\text{Вт})}{v(\text{м/с})};$$

— пульсовая стоимость метра пути или единицы полезной работы; например, пульсовая стоимость ходьбы, бега и других циклических локомоций вычисляется по формуле

$$\text{ПС}\left(\frac{1}{\text{м}}\right) = \frac{\text{ЧСС}(1/\text{мин})}{60 \cdot v(\text{м/с})}.$$

Пульсовую стоимость проще измерить, чем энергетическую. И кроме того, в некоторых ситуациях пульсовая стоимость информативнее энергетической (например, при биомеханическом контроле за двигательной деятельностью в условиях жары).

Биомеханические характеристики — один из хрестоматийных вопросов биомеханики. Без свободного владения сведениями о биомеханических характеристиках так же нельзя рассчитывать на успех в изучении и практическом применении биомеханики, как невозможно читать книгу, не зная алфавита.

Количественная оценка техничко-тактического мастерства

Техничко-тактическое мастерство, или двигательную культуру, человека предопределяют:

- 1) объем техники и тактики;
- 2) разносторонность техники и тактики;
- 3) эффективность и рациональность техники и тактики;
- 4) освоенность техники и тактики.

Объемом техники называется совокупность технических приемов, которыми владеет человек. Объем тактики — совокупность тактических вариантов, которыми владеет спортсмен или спортивный коллектив.

Для контроля за объемом техники и тактики служат шкалы наименований.

В каждом виде двигательной деятельности свой арсенал технических приемов и тактических вариантов. Объем техники и тактики обычно составляет часть этого арсенала.

Лишь мастерски подготовленный человек владеет всеми богатствами техники и тактики. Но и он реализует все свои технико-тактические возможности (общий объем техники и общий объем тактики) только в спокойной обстановке. В стрессовой ситуации (например, на спортивных состязаниях) используется только соревновательный объем техники и тактики, составляющий часть общего объема. Например, в арсенале борьбы самбо несколько сотен приемов. Но даже мастер спорта в совершенстве владеет лишь десятками из них. На ответственных соревнованиях он применяет несколько наиболее отработанных приемов, а завершает схватку, как правило, одним или двумя коронными приемами.

Результаты контроля за объемом техники и тактики удобно представлять в форме таблицы (табл. 4).

Таблица 4

**Форма таблицы сведений о конкретном человеке,
заполняемой при исследовании объема техники и тактики
(на примере слалома на байдарке)**

Технические приемы		Сведения к оценке объема, разносторонности и освоенности	
Группа	Наименование	Разучен (+), не разучен (—)	Используется (+), не используется (—) в стрессовых ситуациях
Гребля	Вперед	+	+
	Назад	+	+
	Дугообразные гребки	+	+
Притяжение	Простого типа	+	+
	Восьмерками	+	—
	Зацеп (подтягивание кормы или носа к веслу)	+	+
Крен	Прямой	+	+
	Обратный	+	+
	Эскимосский переворот	+	—

В практической деятельности педагог старается приблизить общий объем техники и тактики своих учеников к технико-тактическому арсеналу данного вида спорта и, кроме того, стремится увеличить соревновательный объем техники и тактики. Достигается это разучиванием новых при-

емов и освоением уже разученных, в процессе чего повышается разносторонность, эффективность и освоенность техники и тактики.

Технический арсенал каждого вида спорта состоит из групп технических элементов. Например, техника борьбы включает в себя приемы борьбы в стойке и в партере. А объем техники гимнаста состоит из технических элементов, выполняемых на различных снарядах. Техника называется разносторонней, если в объеме техники в равной мере представлены технические приемы из различных групп.

И тактика является разносторонней только в том случае, если в объем тактики входят тактические варианты из разных групп. Например, перед бегуном или пловцом может стоять одна из двух задач, требующих различной тактики:

1) показать наилучший для себя результат (тактика рекорда);

2) победить (попасть в число призеров, финалистов) независимо от того, какой будет показан результат (тактика победы).

Разносторонне подготовленным в тактическом отношении является тот спортсмен, кто сумеет и выложиться, устанавливая рекорд, и победить конкретного соперника.

Также и тактику в игровых видах спорта можно только тогда назвать разносторонней, если спортсмен или команда одинаково хорошо владеет тактическими вариантами игры в защите и в нападении.

Подобно объему, разносторонность техники и тактики делится на общую (демонстрируемую в обычных условиях) и соревновательную (характерную для стрессовых ситуаций).

Эффективность техники двигательных действий и эффективность тактики двигательной деятельности — это степень соответствия техники и тактики конкретного человека избранному критерию оптимальности. Иначе говоря, наиболее эффективный вариант техники (и тактики) — это индивидуально-оптимальный вариант.

Индивидуально-оптимальные варианты техники и тактики до сих пор находили опытным путем. Современные вычислительные машины дают возможность моделировать двигательную деятельность и в наглядной форме получать изображение оптимальной техники или тактики (рис. 23, 24).

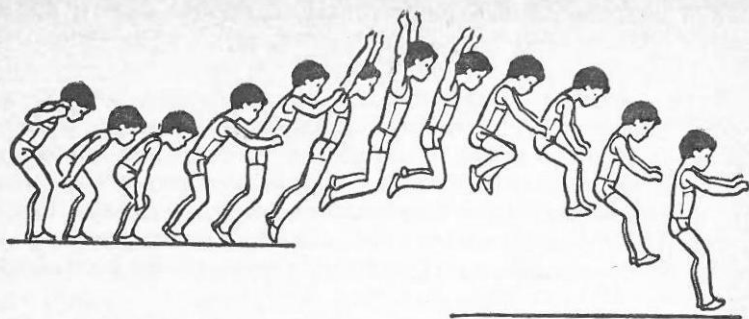


Рис. 23. Результат моделирования прыжка, полученный с помощью электронно-вычислительной машины и представленный в наглядной графической форме на выводном устройстве ЭВМ (по Garret с соавт.)

Задание для самоконтроля знаний

Приведите примеры, в которых эффективность двигательной деятельности определяется по критериям экономичности, эстетичности, точности, механической производительности, и в каждом случае укажите, по какой шкале и в каких единицах измеряется эффективность¹.

При биомеханическом контроле за коллективами людей, занимающихся физкультурой, эффективность двигательной деятельности оценивается по степени близости техники и тактики не к индивидуально-оптимальному, а к рациональному варианту. Такая ситуация имеет место на уроке физкультуры в школе и при проведении занятий с группами здоровья.

Рациональным называется тот вариант техники или тактики, который является наилучшим для большинства людей в той или иной возрастной или квалификационной группе. Например, большинство школьников прыгает в высоту способом «ножницы» или «перекидной». Другой пример: при беге на длинные дистанции рационален бег с постоянной скоростью, без рывков и замедлений.

К рациональным вариантам техники и тактики, как к эталонам, стремятся при обучении начинающих. Например, начинающим лыжникам рассказывают, какие способы бега на лыжах целесообразно применять на равнинных участках трассы, а какие — на подъемах различной крутизны.

¹ Если ответ на этот вопрос вызовет затруднения, еще раз проштудируйте главу 1 и начальные разделы главы 3.

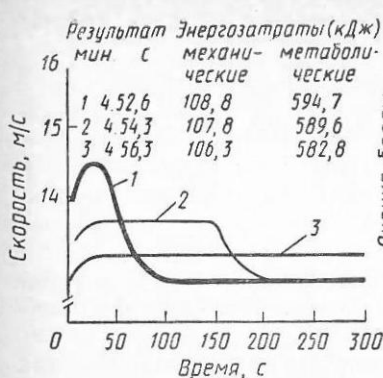


Рис. 24. Полученная на ЭВМ динамика скорости, энергозатраты и результат велосипедиста-перворазрядника в гонке на 4 км при разной величине стартовой скорости; оптимальный тактический вариант выделен жирной линией

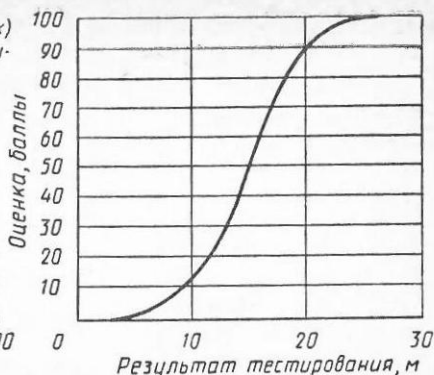


Рис. 25. Шкала оценки результатов детей 10 лет в ударе ногой по мячу на дальность (по цифрам таблицы 5)

Понятно, что рациональный (т. е. наилучший для большинства людей) вариант техники или тактики может существенно отличаться от эффективного, т. е. индивидуально-оптимального варианта. Так, на дистанции 10 км рациональна тактика равномерного бега. Но двукратный олимпийский чемпион В. Куц специальными тренировками готовил себя к бегу с многочисленными ускорениями и часто побеждал, навязывая соперникам этот нерациональный тактический вариант.

Следующий показатель, характеризующий двигательное мастерство человека,— освоенность техники и тактики. Освоенностью техники и тактики называется их стабильность в стандартных условиях и устойчивость в усложненных условиях.

Освоенность количественно оценивается по снижению эффективности техники и тактики в усложненных условиях по сравнению с комфортными. В приведенном примере эффективность техники, оцениваемая числом попаданий по отношению к числу бросков, не снизилась и осталась на уровне 100%.

Известны и другие примеры высокой освоенности техники и тактики. Так, сохранились кинокадры бега В. Веденина, где этот великолепный мастер до последних метров дистанции демонстрирует филигранную технику лыж-

ного хода, а сразу после финиша падает на руки товарищей из-за крайнего утомления.

Но далеко не всегда освоенность бывает высокой. К сожалению, слишком часто футболисты, которые на тренировках демонстрируют весьма совершенную технику владения мячом, в ответственных матчах не попадают в пустые ворота. А коллективная игра, наигранные тактические комбинации разлаживаются при встрече с сильным соперником.

Как и эффективность, освоенность техники и тактики в большинстве случаев удастся измерить по шкалам отношений.

Задание для самоконтроля знаний: предложите шкалы для измерения освоенности техники или тактики в вашем виде спорта.

Точность измерений

Результат измерений всегда содержит погрешность, величина которой тем меньше, чем точнее метод измерений и измерительный прибор. В задачу биомеханических измерений входит не только нахождение измеряемой величины, но и оценка допущенной погрешности.

Различают абсолютную и относительную погрешности измерения. Абсолютной погрешностью называется величина $\Delta A = A - A_0$, равная разности между результатом измерения (A) и истинным значением измеряемой величины (A_0). Абсолютная погрешность измеряется в тех же единицах, что и сама измеряемая величина.

За истинное значение измеряемой величины обычно принимают результат, полученный более точным методом. Например, при визуальном измерении темпа бега истинное его значение может быть найдено при помощи видеоманитофона. Для этого бег записывают на видеопленку, затем видеозапись воспроизводят и анализируют.

В практической работе часто удобнее пользоваться не абсолютной, а относительной величиной погрешности. Относительная погрешность измерения бывает двух видов: действительная и приведенная.

Действительной относительной погрешностью называется отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины:

$$A_d = \frac{\Delta A}{A_0} \cdot 100 \%$$

Если известно предельное, или максимально возможное, значение измеряемой величины (A_m), то наряду с действительной может быть определена и приведенная относительная погрешность:

$$A_p = \frac{A}{A_m} \cdot 100 \, \%.$$

Эту величину обычно указывают в технической документации измерительной аппаратуры и называют классом точности. Например, если динамометрический (силоизмерительный) прибор пригоден для измерения величины силы до 5000 Н¹ и сила измеряется с абсолютной погрешностью 50 Н, то в паспорте прибора указывается класс его точности, в данном случае 1% (приведенная относительная погрешность, вычисленная как $\frac{50}{5000} \cdot 100 \, \%$).

Погрешности измерения бывают систематическими и случайными.

Систематической называется погрешность, величина которой не изменяется от измерения к измерению. Например, показания весов для измерения массы тела бывают завышены и занижены.

Из способов устранения систематической погрешности наиболее эффективна тарировка измерительной аппаратуры. Тарировкой называется нанесение шкалы во всем диапазоне возможных значений измеряемой величины. Например, при тарировке динамографической платформы на нее поочередно помещают грузы массой 10 кг, 20 кг, 30 кг и т. д. Возникающие при этом уровни электрического сигнала (соответствующие величинам силы 100 Н, 200 Н, 300 Н и т. д.) фиксируются на ленте регистрирующего прибора. В дальнейшем результаты измерений сравнивают с полученной таким образом тарировочной сеткой (см. рис. 22).

Помимо систематических погрешностей, результаты измерений искажаются случайными погрешностями. Случайные погрешности возникают в силу разнообразных причин, которые ни предсказать заранее, ни точно учесть невозможно. Случайные погрешности принципиально неустраняемы. Однако, воспользовавшись методами ма-

¹ Вопрос для самоконтроля знаний: сколько это «килограммов силы»? И еще вопрос: с какой силой спокойно стоящий человек воздействует на пол, если масса его тела 50 кг?

тематической статистики, можно количественно оценить величину случайной погрешности и учесть ее при объяснении результатов измерений.

Тестирование и педагогическое оценивание в биомеханике

В переводе с английского *test* означает «проба», «испытание». В биомеханике тестированием называется контрольное испытание человека, осуществляемое для определения его технической и тактической подготовленности. Можно сказать и так: **тестирование — это косвенное измерение.**

Измерение заменяют тестированием в двух случаях:

— во-первых, когда изучаемый объект недоступен прямому измерению;

— во-вторых, когда изучаемое явление не вполне конкретно.

Например, невозможно определить топографию работающих мышц и мышечную силу борца непосредственно во время схватки. Поэтому применяют косвенные измерения в тренировочных или лабораторных условиях.

Другой пример: правильное говорить о тестировании двигательных качеств, чем об их измерениях. Так, в итоге измерений, описанных в предыдущих разделах, получают показатели, лишь косвенно характеризующие двигательные качества, спортивно-техническое и спортивно-тактическое мастерство.

Чтобы педагог смог использовать результаты тестирования в своей практической деятельности, их подвергают педагогическому оцениванию, т. е. ставят оценку, выражая ее в очках или баллах. Для этого составлены специальные таблицы и шкалы педагогических оценок.

Качество теста

Точность тестирования оценивается иначе, чем точность измерения. При оценке точности измерения результат измерения сопоставляют с результатом, полученным более точным методом. При тестировании возможность сравнения полученных результатов с более точными чаще всего отсутствует. Поэтому нужно проверять не результаты тестирования, а качество теста. И проверку эту следует осуществлять еще до начала тестирования.

Качество теста зависит от его информативности и надежности.

Информативность показывает, в какой мере тест пригоден для оценки интересующего нас явления (например, одного из двигательных качеств, уровня технической подготовленности и т. п.).

Информативность иногда называют валидностью (от английского *valid* — действенный, имеющий силу; сравните: инвалидность — несостоятельность, недееспособность).

Различают информативность содержательную (логическую) и эмпирическую (определяемую экспериментально).

Содержательная информативность определяется «логически», из соображений здравого смысла. Например, высота прыжка — информативный показатель при контроле за техническим мастерством гимнастки, а цвет глаз — неинформативный. Но чаще всего необходимы методы определения эмпирической информативности, основанные на вычислении коэффициента информативности.

Коэффициент информативности — это коэффициент корреляции между результатами тестирования и результатами измерения критерия информативности. Критерием информативности может служить:

- 1) результат, показанный на спортивных соревнованиях;
- 2) спортивная квалификация;
- 3) экспертная оценка того качества, которое тестируется.

При биомеханическом контроле следует применять только те тесты, которые обладают высокой информативностью.

Приведем пример из биомеханического контроля в художественной гимнастике. Спортсменки выполняли прыжок «в шпагат». Качество прыжков оценивалось экспертами, и в то же время измерялись биомеханические характеристики: сила отталкивания, длительность фазы опоры и длительность фазы полета. Оказалось, что наибольшей информативностью обладает величина максимальной силы отталкивания: чем сильнее отталкивается спортсменка, тем (в среднем) выше качество прыжка. Коэффициент информативности этого показателя равен 0,70. Такая информативность в теории тестов оценивается как удовлетворительная. Информативность считается отличной, если коэффициент информативности равен 0,85 и выше.

Надежность теста — это степень совпадения результатов многократного тестирования одних и тех же людей в одних и тех же условиях.

Как и информативность, надежность оценивается по величине коэффициента корреляции. Коэффициентом надежности служит коэффициент корреляции между двумя рядами результатов, полученных при первом и втором тестировании группы людей. Надежность считается:

— отличной, если коэффициент надежности больше или равен 0,95;

— хорошей, когда $0,90 \leq r_{tt} < 0,95$;

— удовлетворительной при $0,80 \leq r_{tt} < 0,90$.

Отсюда название простейшего способа проверки надежности теста — метода повторного тестирования (или test-retest метода).

Надежность имеет разновидности — воспроизводимость и объективность. Методом повторного тестирования проверяется воспроизводимость результатов тестирования. Воспроизводимость теста высока, если при втором тестировании спортсмены ранжируются так же, как при первом.

Объективностью (или согласованностью) теста называется степень независимости получаемых результатов от личных свойств человека, осуществляющего тестирование. Чем проще процедура тестирования, тем выше объективность теста. И наоборот, объективность теста снижается по мере повышения требований к квалификации человека, проводящего тестирование.

Так, высока объективность тестов комплекса ГТО, для проведения которых достаточно секундомера и рулетки. И значительно ниже, например, объективность тестов, в которых определяется экономичность техники и тактики, поскольку в этом случае нужно использовать достаточно сложные методы измерения энергетических затрат¹.

Педагогическое оценивание

Педагогическое оценивание — завершающий этап процедуры тестирования. Оно необходимо потому, что на итоговую оценку результатов тестирования оказывают влияние пол и возраст человека, состояние здоровья, темпера-

¹ О том, как определить коэффициенты надежности и объективности, можно прочитать в кн.: Уткин В. Л. Измерения в спорте (введение в спортивную метрологию). — М., 1978; Спортивная метрология/Под общ. ред. В. М. Зациорского. — М., 1982.

тура воздуха и другие показатели, характеризующие условия, в которых осуществляется биомеханический контроль.

Формирование шкалы педагогических оценок¹ — дело чрезвычайно трудоемкое. Предположим, нужно разработать шкалу для оценки результатов тестирования детей, подростков, юношей в возрасте 10—18 лет (табл. 5). В каждую из восьми возрастных групп должно войти не менее 100—200 человек. При этом каждый испытуемый должен выполнить упражнение не менее двух раз. Легко подсчитать, что общее число измерений составит несколько тысяч, и, каким бы простым ни было упражнение, сбор необходимых сведений и их обработка отнимут много времени и труда. Затраты, однако, окупаются достоинствами полученной шкалы, относящейся к классу так называемых перцентильных шкал (от английского percent — процент) (рис. 25).

Таблица 5

Шкала оценок результатов детей, подростков и юношей в возрасте 10—18 лет в ударе ногой по мячу на дальность (в метрах) (по Johnson, Nelson, 1974 г.)

Возраст (лет)								Перцентили (проценты)
10	11	12	13	14	15	16	17—18	
26,5	30,5	35,0	46,0	49,0	52,0	49,0	55,0	100
19,5	23,5	26,9	30,0	33,5	36,3	38,5	39,0	90
17,7	21,4	24,2	27,5	31,5	33,2	34,8	36,5	80
16,8	20,2	22,9	25,4	29,3	31,1	32,4	33,5	70
15,6	19,0	21,4	23,8	27,5	29,3	30,5	31,7	60
14,6	17,2	20,6	22,7	25,8	27,8	29,0	30,0	50
13,7	16,2	18,6	20,6	23,7	26,3	27,5	28,4	40
12,8	14,6	17,1	19,2	22,0	24,1	25,4	26,3	30
11,6	12,8	15,3	17,4	20,2	22,4	22,6	23,2	20
8,5	10,4	12,2	13,4	16,8	19,0	19,6	19,6	10
3,4	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0

При использовании перцентильной шкалы число баллов, полученных при тестировании, показывает, какой процент своих сверстников опередил испытуемый. Так, в шкале на рис. 25 лучший результат у детей 10 лет равен 26,5 м. Иначе говоря, результат 26,5 м или ниже показали 100% испытуемых. А ребенок, показавший, например, результат 8,5 м, опередил 10% детей этого возраста.

¹ Шкалы педагогических оценок не следует путать с измерительными шкалами (шкалами отношений, порядка, наименований).

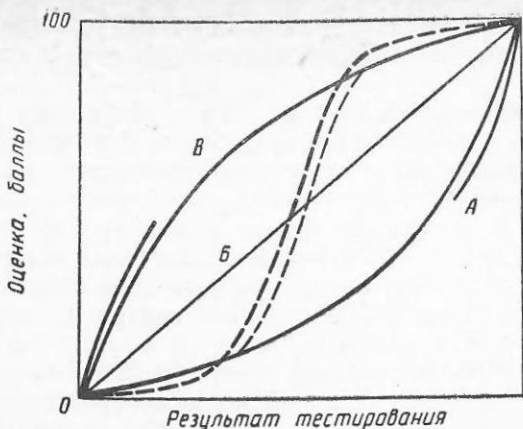


Рис. 26. Наиболее распространенные формы шкалы педагогических оценок:

А — прогрессирующая; Б — пропорциональная; В — регрессирующая; пунктир — сигмовидная. Участки шкал, где наиболее высок прирост оценки (т. е. вознаграждения) за увеличение результата, выделены двойной линией. Например, прогрессирующая шкала стимулирует наивысшие достижения

Важнейшим параметром шкалы является ее форма. Перцентильные шкалы имеют сигмовидную форму (см. рис. 25). Другие шкалы имеют иную форму (рис. 26). Наиболее распространены пропорциональные, регрессирующие и прогрессирующие шкалы. Регрессирующие шкалы предопределяют наибольший прирост оценки за повышение результата в области низких результатов, тем самым стимулируется массовость спорта. Прогрессирующие шкалы, напротив, стимулируют стремление спортсменов к наивысшим достижениям. И наконец, в пропорциональной шкале поощрение за прирост мастерства не зависит от уровня показанных результатов.

Тестирование двигательных качеств

Описание методов тестирования, применяемых для биомеханического контроля в физическом воспитании и спорте, начнем с тестов, позволяющих оценить уровень развития двигательных качеств. На этой основе учитель физкультуры или тренер может выбирать из числа известных или самостоятельно создавать тесты, необходимые ему в практической работе.

Биомеханические тесты выносливости позволяют установить, какой объем работы человек может

выполнить и как долго может работать без снижения эффективности двигательной деятельности. Например, при беге с постоянной скоростью наступает момент, когда человек не может поддержать исходную длину шага (компенсированное утомление), а спустя еще некоторое время он вынужден снизить скорость (декомпенсированное утомление) (рис. 27). Чем выносливее человек, тем дольше не наступает утомление.

Вместо скорости можно программировать длину дистанции и измерять минимальное время, за которое человек справляется с заданием. Этот тест аналогичен соревновательному упражнению в циклических видах спорта.

Есть и третий вариант теста, когда ограничивается продолжительность упражнения и измеряется преодоленное расстояние. Известно несколько разновидностей этого теста: 60-минутный беговой тест, 7-минутный тест для гребцов, разные варианты теста Купера (беговой, плавательный и т. п.).

Согласно правилу обратимости двигательных заданий все три разновидности теста на выносливость эквивалентны (табл. 6), т. е. при тестировании группы людей наиболее выносливые в одном из этих трех тестов будут наиболее выносливыми и в двух других.

Примечание. Для тестирования выносливости используют не только циклические локомоции, но и другие физические упражнения, поэтому скорость передвижения — частный случай интенсивности мышечной работы, а преодоленное расстояние — частный случай объема выполненной работы.

Тестирование силовых качеств осуществля-

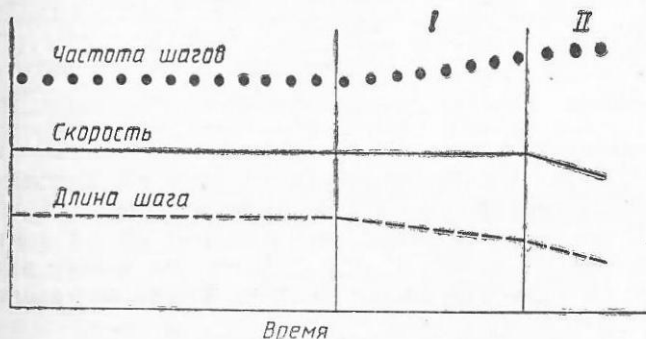


Рис. 27. Изменение скорости, длины шага и частоты шагов (темпа) у человека, выполняющего тест на выносливость: I — компенсированное утомление; II — декомпенсированное утомление

ется либо в упражнениях статического характера, либо в таких общеразвивающих упражнениях, где выполняется локальная или регионарная мышечная работа. В первом случае мерой силовых возможностей служит величина проявляемой силы (F_0 на рис. 14) и продолжительность ее удержания. Во втором случае определяется, сколько раз подряд человек может сжать или растянуть пружину динамометра, подтянуться, отжаться и т. п. Конкретных упражнений, в которых оцениваются силовые качества, очень много. Это неудивительно, ведь двигательный аппарат человека включает в себя около 600 мышц, которые по-разному взаимодействуют в различных упражнениях.

Таблица 6

**Способы тестирования выносливости,
эквивалентные согласно правилу обратимости
двигательных заданий**

Задается	Измеряется	Вычисляется
Скорость передвижения	Предельное время поддержания скорости	Преодоленное расстояние
v	Δt	$S = v \cdot \Delta t$
Продолжительность упражнения	Предельное расстояние, преодоленное за данное время	Средняя скорость
Δt	S	$v = \frac{S}{\Delta t}$
Дистанция	Минимальное время преодоления дистанции	Средняя скорость
S	Δt	$v = \frac{S}{\Delta t}$

Проявляемая человеком сила зависит от позы, от углов в суставах. Влияние суставного угла на проявляемую силу иллюстрирует рис. 28. Изображенный на нем график показывает, что, например, оптимальный угол в локтевом суставе близок к 80° . В этом случае угол между направлением тяги двуглавой мышцы плеча и костями предплечья близок к 90° .

Вообще говоря, измерение силы можно проводить при любой величине суставного угла. Важно лишь, чтобы он всегда был одним и тем же.

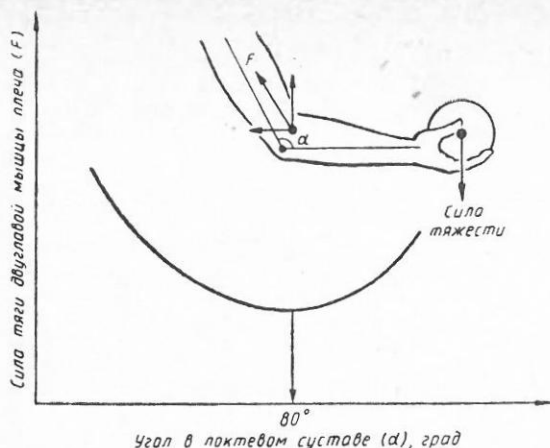


Рис. 28. Сила тяги мышцы, необходимая для удержания груза, в зависимости от величины суставного угла

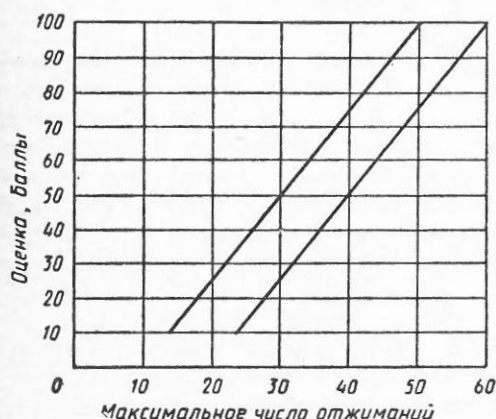


Рис. 29. Шкала для оценивания силовой подготовленности по результатам сгибания и разгибания рук в упоре лежа у людей разного возраста (слева — свыше 30 лет; справа — до 30 лет) (по Johnson, Nelson, переработано)

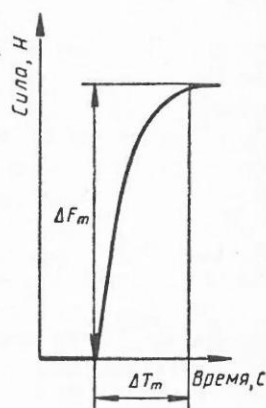


Рис. 30. Динамограмма, регистрируемая при тестировании скоростно-силовых качеств; такая форма динамограммы может иметь место, например, в том случае, когда испытуемый получает задание изо всей силы рвануть рукоятку силоизмерительной установки; $\frac{\Delta F_m}{\Delta T_m}$ — скоростно-силовой индекс

Шкалы для оценивания силовой подготовленности мальчиков, подростков и юношей при подтягивании на низкой перекладине (по Johnson, Nelson, 1974 г.), количество раз

Возраст, лет								Оценка, баллы
10	11	12	13	14	15	16	17	
16	20	15	20	20	25	25	32	100
7	7	7	9	10	11	13	14	90
5	5	5	7	8	10	11	12	80
4	4	4	5	7	8	10	10	70
3	3	3	4	6	7	9	9	60
2	2	2	3	5	6	7	8	50
1	1	1	2	4	5	6	7	40
1	1	1	1	3	4	5	5	30
0	0	0	0	2	3	4	4	20
0	0	0	0	0	1	2	2	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Общепринятым тестом силовых качеств является подтягивание на перекладине. Но далеко не каждый может подтянуться на высокой перекладине. Поэтому полезен тест, в котором человек выполняет возможно большее число подтягиваний на низкой перекладине (см. рис. 4), и соответствующие педагогические шкалы (табл. 7). С той же целью можно использовать «отжимания» (рис. 29) и другие общедоступные упражнения (некоторые из них описаны в главе 12).

Задание для самоконтроля знаний

Нарисуйте графики, соответствующие цифрам в таблице; к какому типу относятся эти шкалы?

Тесты скоростных качеств делятся на три группы. При тестировании человек должен продемонстрировать:

1) наименьшее латентное время двигательной реакции, т. е. временной интервал между световым или звуковым сигналом («стимулом») и началом двигательного действия;

2) наибольшую скорость одиночного движения (рукой, ногой и т. д.);

3) наибольший темп циклических движений (например, боксерских ударов) или наибольшую скорость передвижения (например, в спринтерском беге).

В каждой группе бесконечное множество тестов. Какой из них выбрать? Отвечать на этот вопрос стало легче пос-

ле того, как было установлено, что результаты в тестах одной и той же группы тесно взаимосвязаны, а результаты в тестах из разных групп не связаны между собой. Например, человек может с большим запаздыванием реагировать на сигнал стартера, но развивать высокую скорость на дистанции. А у другого человека может быть высокая скорость одиночного движения, но сравнительно низкая скорость бега. Но если кто-то демонстрирует высокую скорость одиночного движения рукой, то и по скорости одиночного движения ногой он опередит многих своих сверстников.

Практический совет, вытекающий из сказанного, состоит в том, что при тестировании скоростных качеств достаточно измерить три показателя (по одному из каждой группы).

Тестирование скоростно-силовых качеств осуществляется в упражнениях, позволяющих продемонстрировать и силу, и быстроту. Для этого издавна использовали прыжки в высоту и в длину с места. Одна из шкал, применяемых для оценки результатов такого тестирования, содержится в таблице 8.

Даже такой простой показатель скоростно-силовых качеств, как высота вертикального прыжка с места, приносит большую пользу. Так, Каунсилмен предлагает использовать его для выявления прирощенных спринтеров и стайеров в плавании. Пловцам-мужчинам, прыгающим на высоту 41 см и ниже, он рекомендует специализироваться на стайерских дистанциях. А тем, кто прыгает выше 55 см, — на спринтерских.

Таблица 8

Шкала для оценки скоростно-силовых качеств по высоте вертикального прыжка в положении руки за головой
(по Johnson, Nelson, 1974 г.)

Юноши	Девушки	Оценка
Максимальная высота прыжка, см		
97 и выше	44 и выше	Отлично
76—96	34—43	Хорошо
47—75	22—23	Удовлетворительно
36—46	15—21	Плохо
0—35	0—14	Очень плохо

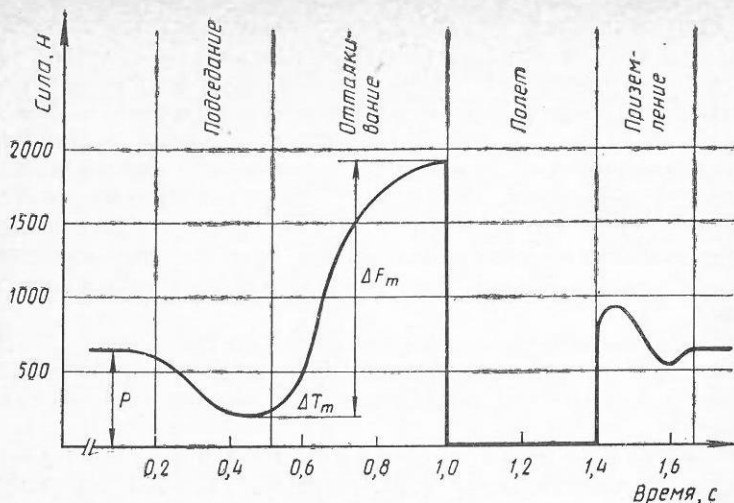


Рис. 31. Динамограмма прыжка вверх с места (по В. А. Петрову, Ю. А. Гагину, Miller, Нау с соавт., переработано); коэффициент реактивности равен $\frac{\Delta F_m}{\Delta T_m P}$, где P — вес тела

Для более глубокого анализа скоростно-силовых качеств регистрируют динамограмму¹ прыжка или другого «взрывного» упражнения и вычисляют градиент силы (т. е. отношение приращения силы к интервалу времени, за которое это приращение произошло).

Градиент силы неодинаков на разных участках динамограммы. Обычно в начале движения он больше, чем в конце. Поэтому вычисляют скоростно-силовой индекс — частное от деления разности между максимальным и минимальным значениями проявляемой силы на величину временного интервала, за который это изменение произошло (рис. 30). Чем выше скоростно-силовая подготовленность, тем больше скоростно-силовой индекс, так как большая сила достигается за меньшее время.

При выполнении многих физических упражнений приходится преодолевать силу тяжести своего тела. В этих случаях наиболее информативный показатель скоростно-силовых качеств — не скоростно-силовой индекс, а коэффициент реактивности. Коэффициент реактивности равен скоростно-силовому индексу, деленному на вес

¹ Динамограммой (от греческого *dynamis* — сила) называется график изменения проявляемой силы во времени.

тела. Пример подготовки динамограммы к вычислению коэффициента реактивности приведен на рис. 31.

Тестирование гибкости чаще всего связано с измерением углов между звеньями тела (рис. 32). Делается это гониометрами (угломерами). Существуют и другие методы контроля за гибкостью (рис. 33).

Гибкость занимает особое положение среди двигательных качеств. Тем, кто занимается в группах здоровья и руководит ими, особенно важно помнить, что «потеря гибкости равносильна началу старости». Для каждодневного контроля за гибкостью рекомендуются наклоны вперед с прямыми ногами, выполняемые на ступеньке, к которой вертикально приставлена линейка с сантиметровыми делениями (рис. 34). Гибкость оценивается расстоянием от кончиков пальцев руки до опоры. 1 см на линейке соответствует одному очку. Нормальной считается гибкость, оцениваемая в ноль очков; в этом случае испытуемый достает кончиками пальцев до опоры. Если, не сгибая коленей, удастся дотянуться еще ниже, гибкость оценивается тем или иным положительным числом очков. У человека, не дотянувшегося до опоры, оценка гибкости отрицательна. Например, минус 25 очков получает тот, у кого в положении наклона концы пальцев на 25 см выше опоры.

Различают активную и пассивную гибкость. Активную гибкость человек демонстрирует сам, без посторонней помощи. Пассивная гибкость проявляется при приложении внешней силы. Понятно, что пассивная гибкость выше активной.

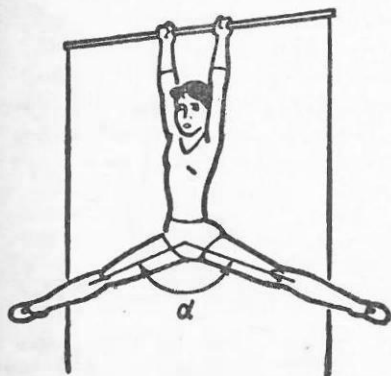


Рис. 32. Тестирование гибкости: измеряется угол между бедрами



Рис. 33. Тестирование гибкости: измеряется расстояние (d) между руками и ногами

АВТОМАТИЗАЦИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Биомеханический контроль можно осуществлять по-разному. Самое простое — наблюдать и записывать результаты наблюдений. Но при этом многое будет упущено и никто не сможет поручиться за точность полученных результатов.

Гораздо плодотворнее, хотя и сложнее, автоматизированный контроль. Можно сказать, что в наши дни ленинская формула «от живого созерцания — к абстрактному мышлению и от него — к практике» приобрела новый смысл. Сегодня процесс «живого созерцания», наблюдения за объектом исследования немислим без использования измерительной аппаратуры.

Все измерительные системы в биомеханике включают в себя датчики биомеханических характеристик с усилителями и преобразователями, канал связи и регистрирующее устройство. В последние годы все чаще используют запоминающие и вычислительные устройства, значительно расширяющие возможности педагога. Для повышения точности биомеханического контроля привлекаются все новинки

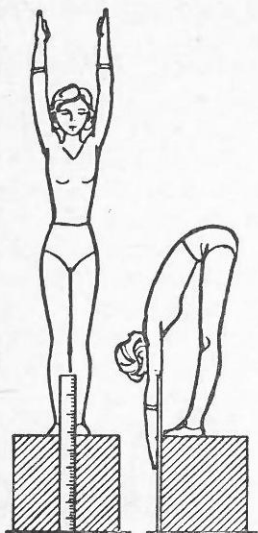


Рис. 34. Тест для ежедневного контроля за гибкостью (по М. Ф. Гриненко, Т. Я. Ефимовой)

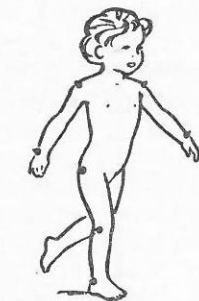


Рис. 35. Маркировка суставов на теле ребенка



Рис. 36. Маркировка суставов на теле гимнастки

инженерной мысли: радиотелеметрия, лазеры, ультразвук, инфракрасное излучение, радиоактивность, телевидение, видеомагнитофоны, вычислительная техника.

Датчики биомеханических характеристик

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

Датчик, закрепляемый на человеке, должен иметь минимальный вес и габариты, высокую механическую прочность, удобство крепления и вместе с тем не должен стеснять движений и создавать какого-либо дискомфорта. На теле человека размещаются: маркеры суставов (рис. 35, 36), электромиографические электроды (см. рис. 3), датчики суставного угла¹ и ускорения (рис. 37).

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

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

Чувствительными элементами в динамографической платформе служат пьезоэлектрические датчики (похожие на тот, что находится в звукозаписывающем электропроигрывателе) или менее хрупкие датчики силы — тензометрические (тензодатчики)².

¹ Их чаще называют гониометрическими (от слов *gonios* — угол, *metreo* — измеряю); кроме измерения суставных углов, гониометрические датчики применяются для измерения угловых перемещений в спортивном инвентаре, например угла поворота весла в уключине.

² Об устройстве биомеханических датчиков и о физических явлениях, лежащих в основе их конструкции, можно прочитать в кн.: Уткин В. Л. Измерения в спорте (введение в спортивную метрологию). — М., 1978. — С. 103—120; Миненков Б. В. Техника и методика тензометрических исследований в биологии и медицине. — М., 1976.

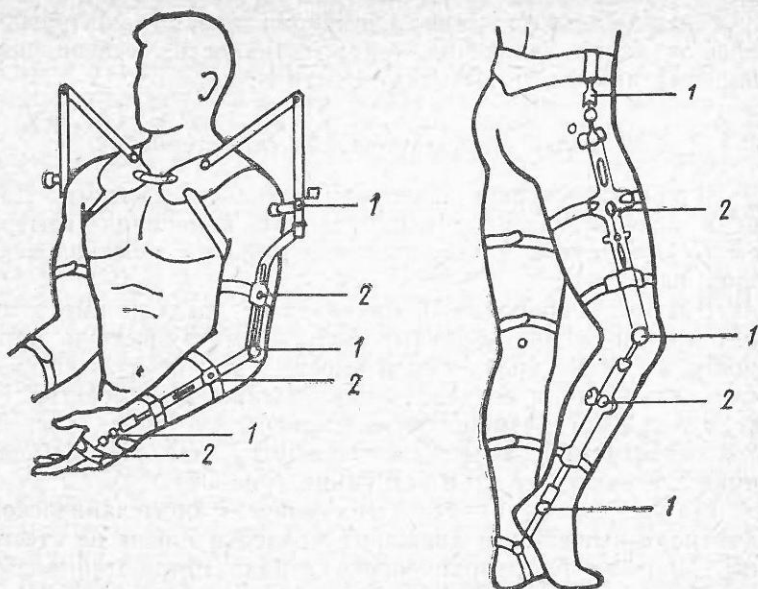


Рис. 37. «Экзоскелет» — система для крепления гониометрических (1) и акселерометрических (2) датчиков на теле человека; предусмотрена возможность подгонки экзоскелета к длинам сегментов руки и ноги (по А. Н. Лапутину)

Тензодатчики применяются для измерения силы во многих видах спорта. В гимнастике их наклеивают на перекладину, бруссы, кольца, ручки коня и т. д. В тяжелой атлетике — на гриф штанги. В стрелковом спорте и биатлоне — на спусковой крючок, ложе и приклад. В гребле — на конус уключины или весло (между рукояткой и уключиной), на подножку и на банку. В велосипедном, конькобежном и лыжном спорте для измерения силы немного видоизменяют конструкцию педали, конька, лыжи и лыжной палки, причем эти изменения никак не сказываются на естественной технике движений. В легкой атлетике применяют тензостельки, которые вкладывают в спортивную обувь. Интересно, что появились кроссовки с тензостельками и миниатюрным компьютером, который автоматически подсчитывает темп и силу отталкивания и сигнализирует тренирующемуся человеку, если сила отталкивания и частота шагов выше или ниже оптимальной.

Тензодатчики используют не только для измерения силы, но и для измерения ускорения, а также для регистра-

ции колебаний тела (рис. 38). В этом случае тензодатчики наклеивают на вертикальный стержень, соединяющий центры нижней и верхней площадки стабилеографической платформы. Стабилограмма показывает, сколь велика способность человека сохранять устойчивость тела, которая служит важным фактором достижений в гимнастике, акробатике, гребле, фигурном катании и т. д. Кроме того, стабилеография полезна при лечении людей с нарушенной способностью сохранять равновесие, при тестировании состояния нервной системы (например, перед соревнованиями).

Подобно тензодатчикам, не искажают естественных движений и фотоэлектрические датчики, в которых электрический ток возникает под действием света. Они используются для измерения скорости ходьбы и бега. Бегун (а также конькобежец, лыжник и др.) во время движения прерывает световые лучи, падающие на фотоэлементы (рис. 39). Поскольку каждая оптронная пара (источник света — фотоэлемент) находится на определенном рас-

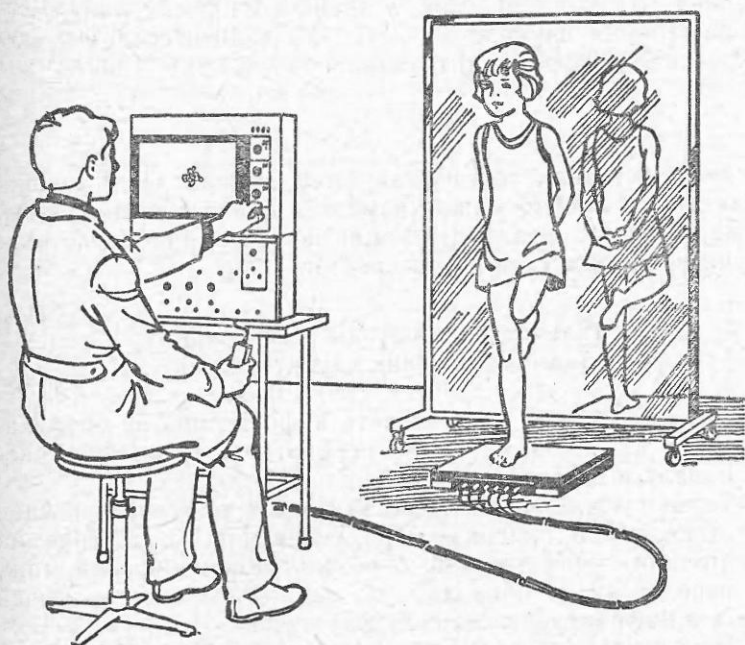


Рис. 38. Обстановка стабилеографического исследования; *справа* — стабилеографическая платформа; *слева* — регистрирующее устройство

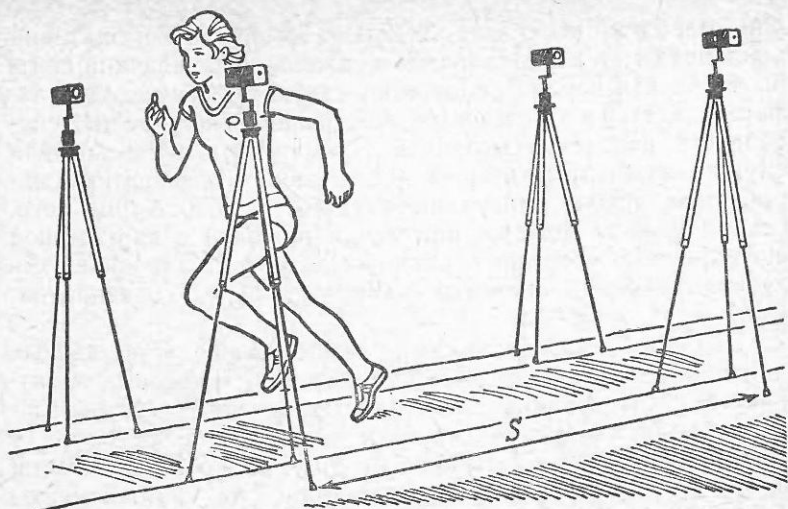


Рис. 39. Измерение скорости бега с помощью оптронных пар

стоянии (S) от следующей, а время (Δt) преодоления этого расстояния измеряется, легко вычислить среднюю скорость на этом отрезке дистанции:

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

Если источник света (например, лазер) дает узконаправленный луч, то можно измерить длительность и длину каждого шага. Эта информация полезна при подготовке спринтеров, прыгунов и барьеристов.

Телеметрия и методы регистрации биомеханических характеристик

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

Термин «телеметрия», составленный из греческих слов *tele* — далеко и *metron* — мера, означает «измерение на расстоянии». Информацию о результатах измерений можно передавать по проводам, по радио, посредством лучей света и инфракрасных (тепловых) лучей.

Проводная телеметрия проста и устойчива при помехах. Ее основной недостаток — невозможность переда-

вать по проводам сигналы с датчиков, размещенных на теле человека, находящегося в движении. Поэтому проводную телеметрию следует использовать в сочетании с динамографической платформой или стационарно установленным спортивным инвентарем, оснащенным датчиками биомеханических характеристик.

Приведем пример. Для регистрации динамограммы воднолыжника (рис. 40) нужно приклеить тензодатчики к установленной на корме катера вертикальной стойке. К верхней части стойки прикрепляется конец фала, за другой конец которого держится воднолыжник. В этом случае электрический сигнал от тензодатчиков к регистрирующему прибору (который также размещен на катере) целесообразно передать по проводам.

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

Радиотелеметрия дает возможность контролировать технико-тактическое мастерство человека в естественных условиях двигательной деятельности. Для этого он должен нести на себе биомеханические датчики и миниатюрное передающее устройство радиотелеметрической системы. Пример радиотелеметрической записи биомеханической информации представлен на рис. 41. Изображенные на нем элект-

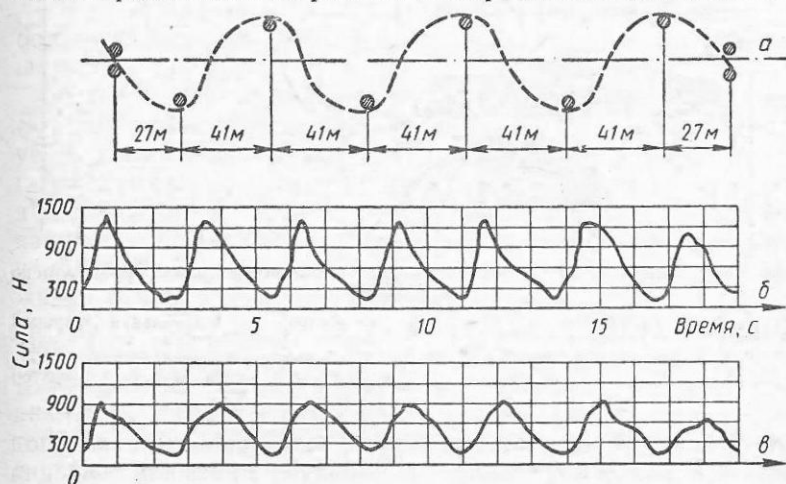


Рис. 40. Тензометрическая регистрация силы, проявляемой при прохождении слаломной трассы (а) мастером спорта (б) и перворазрядником (в): штрихпунктир — путь катера, пунктир — путь воднолыжника (по В. Л. Нехаевскому, Ю. Л. Нехаевскому)

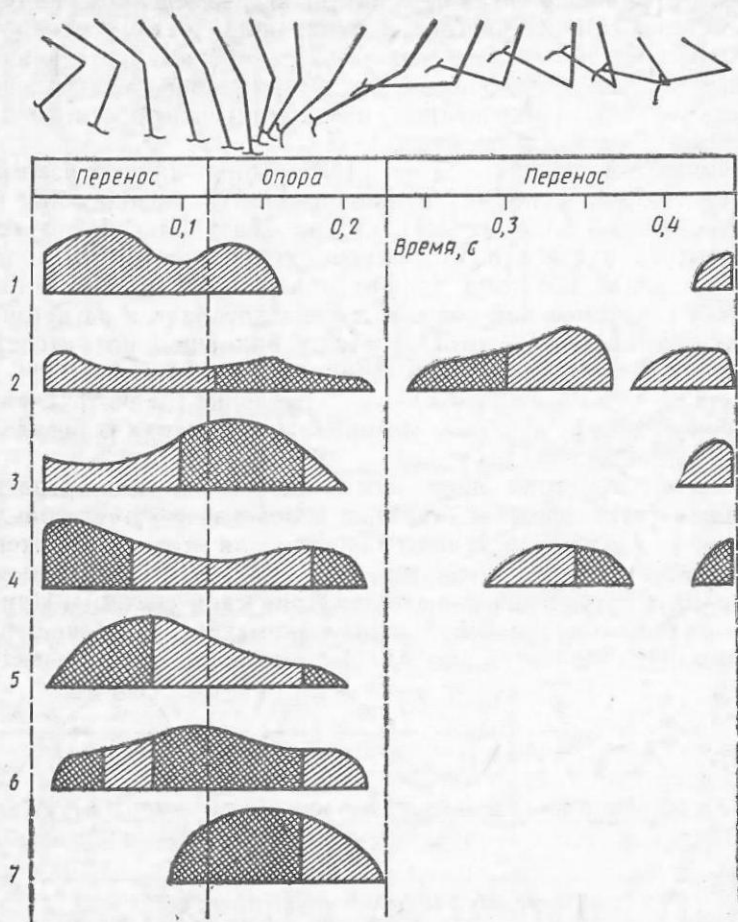


Рис. 41. Радиотелеметрическая запись электромиограмм у бегущего человека:

1 — большая ягодичная м.; 2 — прямая м. бедра; 3 — латеральная широкая м. бедра; 4 — двуглавая м. бедра; 5 — передняя большеберцовая м.; 6 — икроножная м.; 7 — камбаловидная м.; одинарная косая штриховка — уступающая работа; двойная косая штриховка — преодолевающая работа (по И. М. Козлову)

ромиограммы получены в легкоатлетическом манеже, под беговой дорожкой которого уложена приемная антенна радиотелеметрической системы.

Вопрос для самоконтроля знаний

Какие варианты телеметрии могут быть использованы для регистрации силы отталкивания от опоры:

- а) в лыжных гонках;
- б) в прыжках в длину;
- в) в художественной гимнастике?

Регистрация электрических сигналов, содержащих информацию о результатах биомеханического контроля, осуществляется самописцами и индикаторами различных конструкций. При записи результатов измерений остается документ (график на бумаге, магнитная запись, фотография и т. п.). В отличие от записи индикация состоит в восприятии получаемой информации зрительно или на слух.

Самописцы помогают узнать, как один или сразу несколько измеряемых показателей изменяются во времени (см. рис. 40, 41). Но есть и двухкоординатные самописцы, вычерчивающие график зависимости одного показателя от другого. Они дают педагогу дополнительные возможности. Так, на рис. 42 помещены автоматически вычерченные зависимости силы, прикладываемой к веслу, от горизонтального перемещения весла. Площадь, ограниченная такой кривой, пропорциональна величине внешней механической работы.

Задание для самоконтроля и закрепления знаний

Подвергните последнее утверждение критическому анализу и докажите его справедливость или ошибочность.

Регистрация изображения издавна приносит большую практическую пользу в физическом воспитании и спорте.

Спортивные соревнования — увлекательное зрелище. В таких видах спорта, как гимнастика и фигурное катание, успех спортсмена прямо зависит от красоты и выразительности движений. В других видах спорта внешняя картина движений имеет хотя и второстепенное, но тоже очень важное значение, поскольку от нее зависит сила, быстрота и точность двигательных действий. Да и в повседневной жизни важно умение красиво двигаться.

Кинематику движений регистрируют оптическими методами, которые непрерывно совершенствуются начиная с 1839 г., когда Франсуа Араго на заседании Французской академии наук сообщил об открытии фотографии («светописи»). Уже в 1882 г. Э. Ж. Марей установил перед объективом фотоаппарата вращающийся диск с прорезями и впервые получил на одной фотопластинке несколько поз движущегося человека («хронофотограмму»).

Другое нововведение, названное впоследствии Н. А. Бернштейном цикло съемкой, состояло в том, чтобы

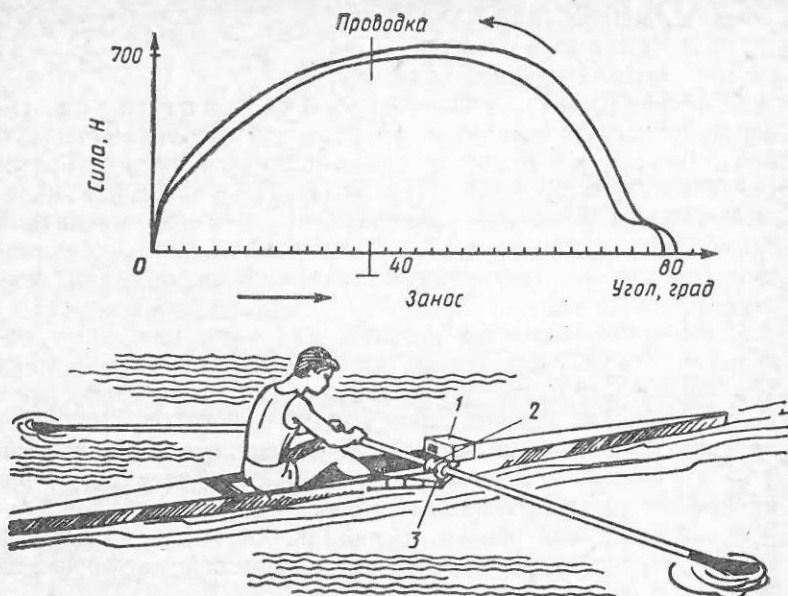


Рис. 42. Графическая регистрация (самописцем) или индикация (на электронно-лучевом индикаторе) зависимости между силой, прикладываемой к рукоятке весла, и горизонтальным перемещением весла в двух циклах гребли; внизу — лодка, оборудованная измерительной аппаратурой:

1 — вычислительное устройство и электронно-лучевой индикатор; 2 — датчик углового перемещения весла; 3 — тензодатчик (по А. П. Ткачуку)

регистрировать лишь схематическое изображение тела. С этой целью на голове и суставах человека или в определенных точках спортивного снаряда укрепляют миниатюрные электрические лампочки или отражатели света (см. рис. 35, 36). При этом на фотопластинке фиксируется последовательность светящихся точек («циклограмма»). Соединив точки, относящиеся к какому-либо суставу, получим траекторию этого сустава (рис. 43).

По мере совершенствования измерительной аппаратуры были освоены стереосъемка, позволяющая получать трехмерное изображение, и высокоскоростная съемка, дающая возможность регистрировать быстротекущие процессы (рис. 44).

Многообразие способов оптических измерений наглядно иллюстрирует рис. 45. Из слов, написанных на рисунке, могут быть составлены названия большинства известных

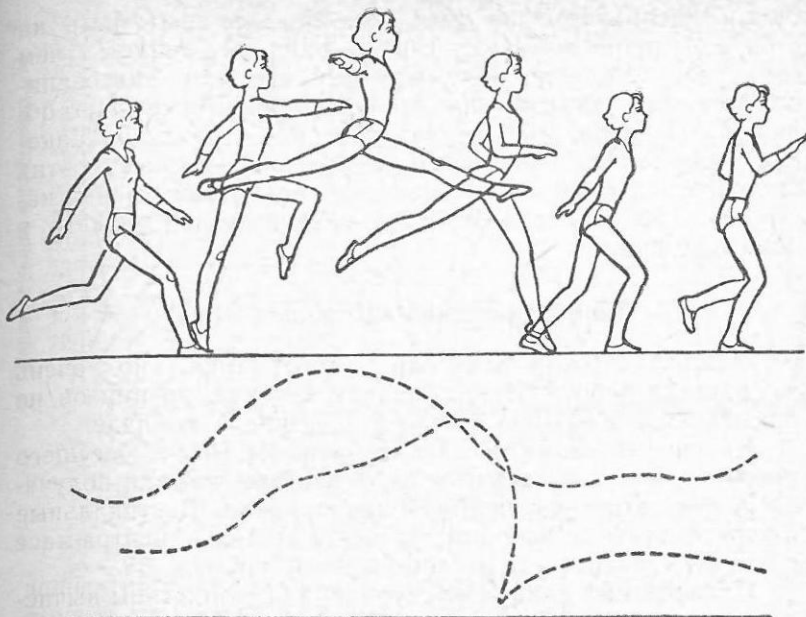


Рис. 43. Хронофотограмма (стробогамма) и циклограмма (внизу) прыжка гимнастки; источники света закреплены на тазобедренном суставе правой ноги и голеностопном суставе левой ноги (по Gutewort)

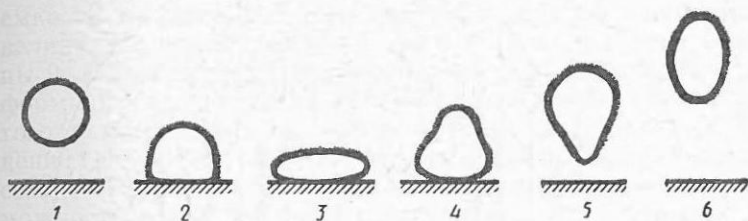


Рис. 44. Кинограмма отскока теннисного мяча от площадки; при высокоскоростной съемке (4000 кадров в секунду) видно, как меняется форма мяча (по Нау)

способов регистрации внешней картины движений. Например, низкоскоростная плоскостная видеоциклосъемка — это съемка маркеров на теле человека одной видеокамерой с обычной частотой кадров.

Обратите внимание, что современная видеотехника постепенно вытесняет методы кино- и фотоизмерений. Благодаря видеозаписи возможен тщательный и объективный анализ техники и тактики. Это и мощное обучающее сред-

ство. Видеомагнитофон дает возможность посмотреть на себя со стороны. А ведь «лучше один раз увидеть, чем семь раз услышать». Многократный просмотр видеозаписи, стоп-кадр, замедленное воспроизведение позволяют обнаружить ошибки и наметить пути их устранения. Наконец, видеозапись долговечнее кинопленки. И при всех этих достоинствах современные цветные видеомагнитофоны (например, «Электроника ВМ-12») сравнительно дешевы и общедоступны.

Биомеханический контроль и ЭВМ

Биомеханический контроль — необходимая, но очень трудоемкая работа. И это главная причина, почему он не применяется в каждой школе и спортивной команде.

На рис. 46 схематически изображены 10 поз бегущего человека, масса тела которого 70 кг. Эти графики получены в результате плоскостной цикло съемки. Вертикальные и горизонтальные координаты шести суставов, центра масс головы и кончика стопы помещены в таблицу 9.

Приведенных данных достаточно для того, чтобы вычислить скорости и ускорения основных сегментов тела, опре-

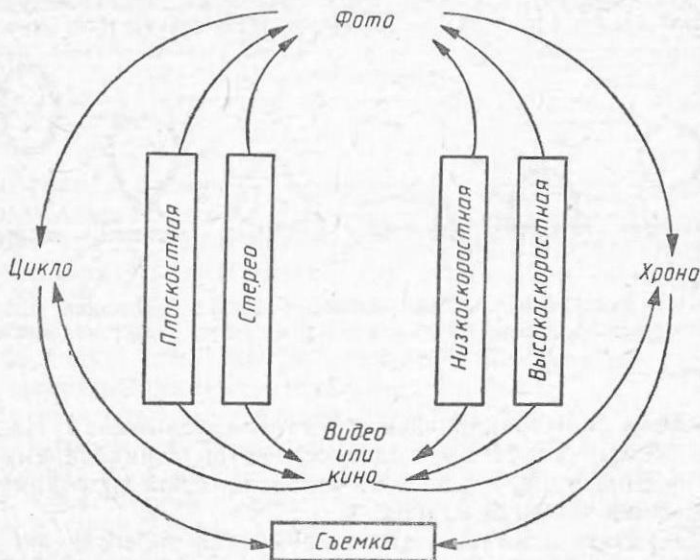


Рис. 45. Разновидности способов оптических измерений, используемых для контроля за кинематикой движений

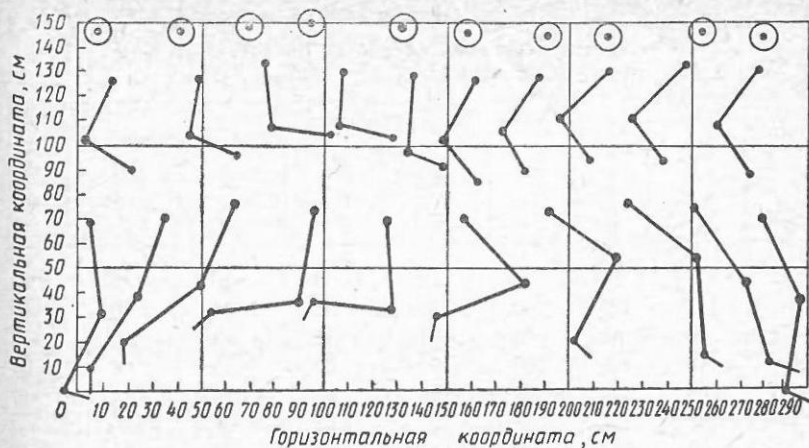


Рис. 46. Киноциклограмма бега человека (по Д. Д. Донскому, Л. С. Зайцевой)

делить координаты общего центра масс в каждой позе, построить кинематические графики¹.

Задание для самостоятельной работы

Выполнить все перечисленные расчеты и построения.

Выполнив это задание, вы убедились в том, что трудоемкость биомеханического контроля действительно очень велика. Но немало времени ушло и на составление таблицы 9. А теперь представьте себе, что всю необходимую информацию вы получили не затрачивая труда, сразу после того, как исследуемый человек закончил выполнять упражнение. Не правда ли, это уже из области научной фантастики? Тем не менее сегодня такая фантастическая возможность стала реальной, и случилось это благодаря достижениям электронно-вычислительной техники.

С созданием ЭВМ, значение которых академик Н. Н. Моисеев сравнивает с покорением огня, связан важнейший этап научно-технической революции XX в. «Совершенствуя в течение тысячелетий свои рабочие органы и органы чувств, человек до середины XX в. сохранял за своим мозгом функцию промежуточного звена между ними.

...Но при современном уровне развития науки и техники умственная нагрузка человека... стала огромной, а под-

¹ Кинематическими графиками принято называть графики, показывающие, как изменяются во времени координаты, скорости и ускорения частей тела.

Результаты первичной обработки циклограммы бега
(по Д. Д. Донскому, Л. С. Зайцевой, 1983 г.)

№ кадра	Центр масс головы	Суставы						Кончик стопы
		плечевой	локтевой	лучеза- пястный	тазобе- ленный	коленный	голено- стопный	
1	9	15	6	3	6	10	-9	3
	145	125	100	89	68	28	0	-8
2	38	48	46	71	35	23	+5	4
	146	129	105	100	70	33	8	-7
3	68	79	81	105	65	50	19	17
	148	132	198	105	73	36	20	+4
4	99	108	108	131	98	88	53	45
	149	131	106	98	72	34	32	19
5	129	136	130	151	130	133	94	89
	146	127	102	88	69	32	36	24
6	159	163	151	167	161	182	150	147
	143	126	102	81	70	41	30	15
7	190	189	173	186	192	222	204	211
	142	128	106	83	75	53	23	9
8	221	217	199	210	222	251	256	269
	143	131	111	87	77	53	18	10
9	252	248	230	242	250	276	286	301
	144	131	112	88	75	44	11	4
10	282	279	266	281	278	298	296	307
	142	128	107	85	72	36	1	-7

Примечание. В числителе горизонтальные, в знаменателе вертикальные координаты маркеров, см.

час изнурительной и непосильной. Дальнейшее развитие человечества потребовало «достройки» естественной системы управления — человеческого мозга... Из этой потребности и родилась... электронно-вычислительная техника»¹.

Как известно, ЭВМ делятся на универсальные и специализированные. Универсальные ЭВМ (в том числе персональные компьютеры) дают возможность решать многие задачи биомеханического контроля. В том числе:

— вычисления и графические работы, подобные тем,

¹ Цитата (с сокращениями) заимствована из книги И. М. Фейгенберга «Мозг, психика, здоровье» (М., 1972.— С. 32).

Рис. 47. Результат компьютерной обработки подограммы; линии на рисунке соединяют точки с одинаковой силой действия на опору; внешний контур соответствует силе 100 Н, интервал между контурами также 100 Н; отчетливо видно, что человек воздействовал на опору несимметрично (по Cavanagh, Rodgers)



что вы сделали, выполняя задание на с. 75 и более сложные;

- тестирование двигательных качеств;
- выявление оптимальных вариантов техники и тактики путем их математического и имитационного моделирования на ЭВМ (см. рис. 23, 24);
- контроль за эффективностью техники и тактики.

Последнее проиллюстрируем представленными на рис. 47 результатами динамографического контроля за симметричностью позы при стоянии человека. Такой контроль не только позволяет дать полезные для здоровья рекомендации, но и необходим при индивидуальном пошиве спортивной обуви. Рисунок показывает, что два пальца левой ноги не взаимодействуют с опорой. Следовательно, под эти пальцы следует положить супинатор.

Даже эти немногие примеры дают представление о том, насколько применение вычислительной техники в биомеханическом контроле расширяет возможности педагога. Недаром умение пользоваться ЭВМ называют второй грамотностью.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют шкалы измерений? Расскажите об особенностях каждой шкалы.
2. Перечислите биомеханические характеристики. Расскажите о назначении каждой из них.
3. Перечислите показатели спортивно-технического мастерства.
4. Что вам известно о погрешностях измерения?
5. От каких показателей зависит качество теста? Расскажите о них.
6. Как форма шкалы педагогических оценок может влиять на рост спортивных достижений?

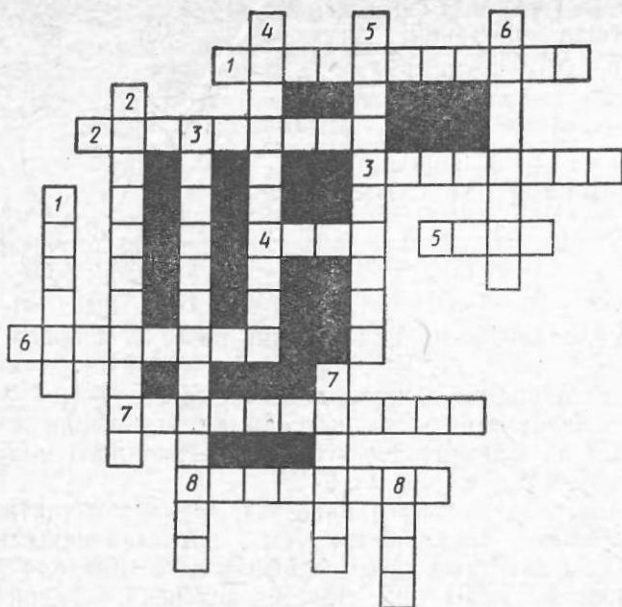


Рис. 48. Кроссворд.

По горизонтали. 1. Наука о двигательных возможностях и двигательной деятельности человека и животных. 2. Биомеханическая характеристика. 3. Работа за единицу времени. 4. Проба, испытание. 5. Соотношение длительностей фаз двигательного действия. 6. Объект биомеханического контроля. 7. Датчик для измерения силы. 8. Кинематическая характеристика.

По вертикали: 1. Единица измерения силы. 2. Показатель, характеризующий технико-тактическое мастерство. 3. Разновидность надежности теста. 4. Раздел биомеханики, изучающий внешнюю картину движений. 5. Измерение на расстоянии. 6. Двигательное качество, для тестирования которого используют гониометрические датчики. 7. Энергетическая характеристика движения. 8. Число движений в единицу времени.

7. Приведите примеры тестов, позволяющих оценить уровень развития двигательных качеств в вашем виде спорта.

8. Какие датчики биомеханических характеристик используются при биомеханическом контроле?

9. Как используются ЭВМ при проведении биомеханического контроля?

10. Решите кроссворд (рис. 48).

ГЛАВА 4. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДВИГАТЕЛЬНЫХ КАЧЕСТВ

Нет ничего практичнее хорошей теории.

К. Больцман

Citius, altius, fortius!

Для того чтобы повысить выносливость, быстроту, гибкость, ловкость и силу, недостаточно регистрировать внешние показатели. Нужно постараться понять суть жизненных процессов, обеспечивающих каждое двигательное качество.

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫНОСЛИВОСТИ

Начнем рассмотрение этого вопроса на примере бега. Ясно, что, чем больше расстояние, тем больше времени нужно на его преодоление. Построим график, связывающий дистанцию со временем ее пробегания (рис. 49). Соединим точки на графике и продолжим полученную линию влево до пересечения с вертикальной осью, отсекая от вертикальной оси отрезок a . Математическая запись этого графика выглядит так:

$$\Delta S = a + bt,$$

где a — дистанция анаэробных резервов, показывающая, какое расстояние человек может пробежать за

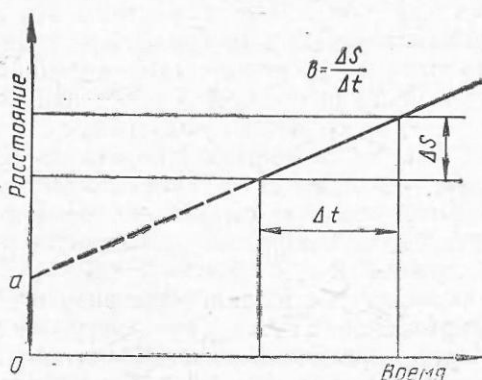


Рис. 49. Графический метод расчета дистанции анаэробных резервов и критической скорости бега

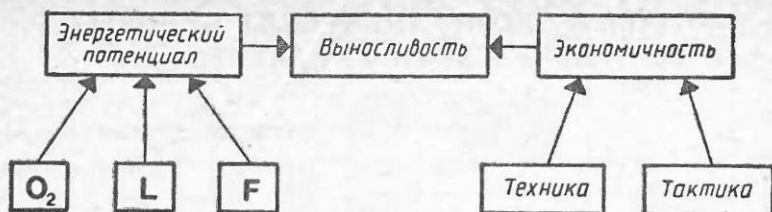


Рис. 50. Основные факторы, от которых зависит выносливость человека; условные обозначения: O_2 , L , F — емкость и мощность окислительной, лактаcidной и фосфатной энергетических систем (о которых подробнее говорится в курсах физиологии и биохимии)

счет анаэробных (бескислородных) источников энергии. У взрослого, хорошо тренированного человека это расстояние составляет (в среднем) 100—200 м и зависит от емкости анаэробных энергетических систем. У ребенка дистанция анаэробных резервов значительно меньше; с возрастом и по мере повышения физической работоспособности она увеличивается; b — критическая скорость бега, при которой достигается уровень максимального потребления кислорода (см. рис. 49):

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

Чем выше физическая работоспособность человека, тем больше критическая скорость.

Выносливость зависит не только от энергетического потенциала человека, но и от умения экономно расходовать запас энергии (рис. 50). Для того чтобы это важное положение лучше запомнилось, воспользуемся простыми житейскими аналогиями. Энергетический потенциал сравним с имеющейся в наличии суммой денег, а экономичность — с бережливостью. Здесь важно подчеркнуть: именно с бережливостью, а не со скупостью. Ибо значительные затраты порой необходимы, но их следует осуществлять рационально. Например, человек, который во время бега хаотично или поперек беговой дорожки размахивает руками, тратит энергию неразумно.

В спорте высших достижений, где энергетические возможности спортсменов близки друг другу, экономичность даже более важна, чем энергетический потенциал. Так, из членов национальной сборной команды по бегу на длинные дистанции были отобраны 12 спортсменов с равным уровнем максимального потребления кислорода. У всех спорт-

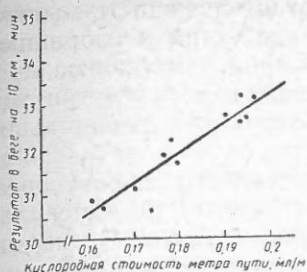


Рис. 51. Роль экономичности в достижении результатов на соревнованиях; каждая точка — результат измерения обоих показателей у одного спортсмена (по Conley, Krahenbuhl, переработано)

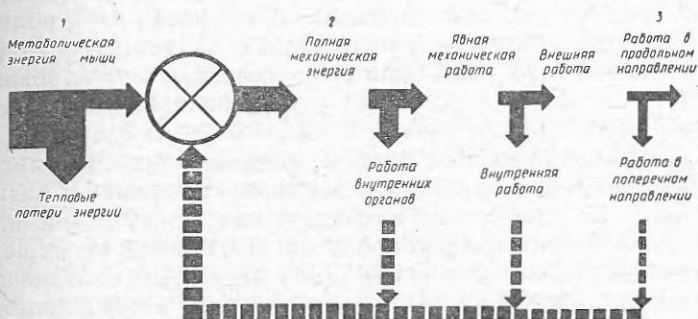


Рис. 52. Этапы преобразования энергии при двигательной деятельности человека; сплошными линиями показана расходуемая энергия, пунктир — поток рекупируемой энергии, $\otimes$ — знак суммирования потоков энергии; согласно принятой терминологии: $\frac{2}{1}$ — коэффициент

механической эффективности, $\frac{3}{2}$ — коэффициент использования механической энергии, $\frac{3}{1}$ — коэффициент экономичности, $\frac{1}{3}$ — энергетическая стоимость единицы выполненной работы или одного метра пути

сменов в лабораторных условиях определили потребление кислорода во время бега на тредбане со стандартной скоростью 4,5 м/с. Затем полученные данные сравнили с результатами этих же спортсменов на соревнованиях (рис. 51). Как видно, лучшее время показали те, кто использовал меньше кислорода, т. е. затратил меньше энергии на метр пути.

Прежде чем перейти к рассмотрению путей экономизации движений и тем самым повышения выносливости, нужно уяснить, от чего зависит экономичность. Поверхностный ответ на этот вопрос содержится на рис. 50. Основными

факторами экономичности являются интенсивность мышечной работы, техника двигательных действий и избранный тактический вариант. Для более подробного анализа проследим цепь преобразований метаболической энергии мышечного сокращения в полезный результат двигательной деятельности (рис. 52).

Как известно, любая форма активности живого организма обеспечивается энергией, запасенной в молекулах аденозинтрифосфата (АТФ). Но лишь около 25% энергии АТФ переходит в механическую при мышечном сокращении. Остальные 75% энергетического запаса расходуются на теплообразование и т. п., не увеличивая полной механической энергии¹. Таким образом, по коэффициенту полезного действия мышцы не лучше машин, созданных человеком (известно, что КПД двигателя составляет у паровоза 5—8%, у автомобиля 20—25%, у тепловоза 40%, у электровоза 60%).

Полная механическая энергия создается за счет механической работы, совершаемой всеми без исключения мышцами тела. Ее удобно рассматривать как сумму явной, или наблюдаемой, механической работы и скрытой от нашего взгляда работы внутренних органов (сердца, дыхательной мускулатуры, а также мышц-антагонистов в тех случаях, когда их напряжение чрезмерно, нерационально).

Явная механическая работа состоит из внутренней и внешней работы. Внутренней называют работу, совершаемую при перемещении отдельных сегментов тела (в первую очередь рук и ног) относительно общего центра масс (ОЦМ). А внешней — работу по перемещению всего тела, масса которого как бы сосредоточена в точке ОЦМ. На внутреннюю работу приходится значительная часть расходуемой энергии; например, на перемещение ног у велосипедиста затрачивается более половины явной механической работы.

И наконец, внешняя механическая работа состоит из продольной работы, за счет которой движущийся человек или спортивный снаряд перемещается в нужном направлении, и непроизводительной поперечной работы.

Задания для самоконтроля и закрепления знаний

Для нескольких видов двигательной деятельности подробно расскажите о том, какое конкретное содержание за-

¹ Происходящие при этом процессы чрезвычайно сложны, во многом еще не познаны и в настоящее время изучаются на клеточном и молекулярном уровне специалистами по физиологии и биохимии.

ключено в терминах: внутренняя работа, работа в продольном и поперечном направлении. Например, у бегуна:

— внутренняя работа обеспечивает перемещение ног и рук относительно общего центра масс;

— работа в поперечном направлении приводит к перемещению тела вверх-вниз и влево-вправо;

— работа в продольном направлении выполняется против силы сопротивления воздуха и против сил инерции ускоряемых и тормозимых звеньев тела.

Теперь мы знаем, что полная механическая энергия человеческого тела состоит из фракций, часть из которых обеспечивает выполнение полезной работы, а другая часть бесполезна, непроизводительна и ее следует по возможности уменьшать. В соответствии с этим рекомендации, направленные на повышение выносливости, можно условно разделить на пять групп.

Во-первых, рекомендуется избегать излишних, непроизводительных мышечных сокращений и напряжений.

Тем самым уменьшается работа внутренних органов (см. рис. 52).

Даже при выполнении тяжелой работы движения должны быть возможно более свободными, незакрепощенными. Скованность движений вызывается излишней активностью мышц-антагонистов. К сожалению, ее не всегда заметишь со стороны, и потому педагог должен развивать у учеников умение контролировать свои движения, расслабляться.

Упражнение для закрепления знаний

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

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

Во-вторых, следует уменьшать лишние, непроизводительные движения.

Тем самым уменьшаются внутренняя работа и работа в поперечном направлении (см. рис. 52).

С точки зрения экономичности избыточные, расхлябанные движения не менее вредны, чем скованные, закрепощенные. Мы редко придаем значения непроизводительным движениям, поскольку каждое из них в отдельности требует небольших энергозатрат. Но, как говорится, вода по капле камень точит. Приведем пример.

Идущий по дороге взрослый человек в каждом шаге поднимает и опускает себя примерно на 6 см. Чтобы пройти, например, 8 км при длине шага 0,8 метра, нужно сделать $8000 : 0,8 = 10\,000$ шагов. Помножив это число на высоту подъема в каждом шаге, получим общую высоту подъема, равную $10\,000 \times 0,06 = 600$ м, т. е. на 70 м выше Останкинской телевизионной башни в Москве. Мало кто согласится без лифта забраться на ее верхнюю площадку. А вот в обыденной жизни мы совершаем этот подъем ежедневно, а порой несколько раз в день.

Заметим, что у детей вертикальные перемещения тела при ходьбе, беге и других циклических локомоциях больше, чем у взрослых. Дети младшего школьного возраста в каждом шаге поднимают и опускают свое тело на 8—12 см. И наоборот, по мере совершенствования двигательного навыка (например, у опытных спортсменов-ходоков) вертикальные колебания общего центра масс снижаются до 3 см. Но в отличие от других непроизводительных движений (неритмичного размахивания руками и т. п.) полностью устранять вертикальные перемещения ОЦМ, так как это затрудняет использование рекуперации энергии.

В-третьих, целесообразно использовать рекуперацию энергии. В том числе:

— выбирать наименее энергоемкое сочетание проявляемой силы и быстроты (например, длины и частоты шагов); этим уменьшается внутренняя работа (см. рис. 52), так как потенциальная энергия сегмента переходит в кинетическую, а кинетическая — в потенциальную при минимальном притоке дополнительной метаболической энергии¹;

— использовать энергию, переходящую от одного сегмента тела к другому (примеры: выхлест голени может выполняться за счет энергии, накопленной при махе бед-

¹ В главах 7 и 8 приведены конкретные сведения о наиболее экономичных сочетаниях длины и частоты шагов при ходьбе, беге и передвижении на лыжах.

ром; при метании механическая энергия переходит от предварительно разогнанных проксимальных сегментов тела к дистальным и метаемому снаряду);

— использовать энергию упругой деформации, накопленную в мышцах в предыдущих фазах двигательного действия.

Второй из названных вариантов рекуперации энергии является причиной удивительных фактов повышения коэффициента механической эффективности (см. подпись к рис. 52) до 40% при беге человека и до 76% (!) при прыжках кенгуру. Кинетическая энергия движущегося тела при приземлении частично переходит в потенциальную энергию мышц нижних конечностей, которые в данном случае функционируют подобно пружинам. Чем сильнее сдавливали пружину, тем мощнее она распрямляется. И потому значительная часть энергии, необходимой для следующего бегового шага или прыжка, запасается в «мышцах-пружинах» в конце предыдущего движения. Так однажды произведенная механическая энергия используется многократно.

Интересно, что в Бельгии среди подростков стали популярными «прыжки по-кенгуриному» на специальных башмаках, в подошвы которых вмонтированы массивные пружины. Но есть разница между рекуперацией энергии в стальной пружине и в мышце. Запасенная в мышце потенциальная энергия очень быстро (в течение 1—5 с) переходит в тепло. Следовательно, чем быстрее движение, выше скорость, стремительнее походка, тем больше рекуперированной энергии переходит в полную механическую энергию.

Рекуперация энергии может иметь место не только в мышцах рук и ног, но и во всякой другой скелетной мышце и даже в мышцах внутренних органов¹. Поэтому поток рекуперированной энергии (см. пунктир на рис. 52) при высокой культуре движений может составлять значительную часть полной механической энергии и существенно повышать выносливость человека.

В-четвертых, рекомендуется выбирать оптимальную по экономичности интенсивность двигательной деятельности.

Известно, что по мере увеличения интенсивности мышечной работы и механические, и метаболические энергозатраты растут не пропорционально интенсивности, а го-

¹ Так, согласно известному в кардиологии «закону Старлинга» ударный объем сердца тем больше, чем выше венозный приток крови и, следовательно, растяжение сердечной мышцы. Это, по существу, одно из проявлений механизма рекуперации энергии.

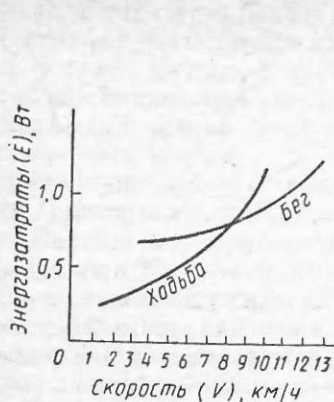


Рис. 53. Зависимость энергетических затрат от скорости передвижения: чем больше скорость, тем значительнее возрастают энергозатраты (по Margaria)

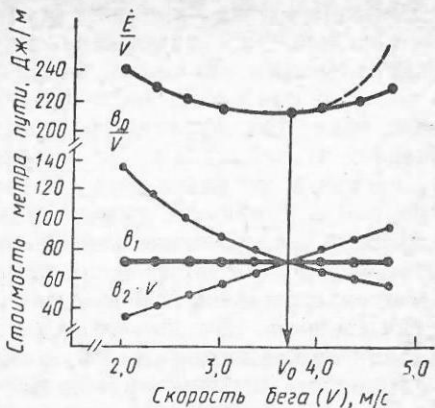


Рис. 54. Графическое определение оптимальной скорости бега; пунктир — стоимость метра пути с учетом энергетического эквивалента лактата крови

раздо значительнее (рис. 53). Перечислим основные причины этого явления:

- 1) увеличение тепловых потерь в результате нагревания тела;
- 2) увеличение энергозатрат на работу внутренних органов (в первую очередь на усиленное функционирование сердца, на кровоснабжение которого при тяжелой мышечной работе тратится до 10% всей циркулирующей крови);
- 3) увеличение темпа движений и вызываемое этим повышение затрат энергии на внутреннюю работу, работу в поперечном направлении, а также на разгон и торможение тела;
- 4) увеличение сопротивления внешней среды; например, на преодоление сопротивления воздуха спринтер затрачивает до 16% всей метаболической энергии.

Из сказанного, казалось бы, следует, что увеличение интенсивности движений всегда сопровождается снижением экономичности. Но иной результат получается, если рассматривать не величину энергозатрат в единицу времени, а энергетическую стоимость единицы выполненной работы или единицы преодоленного расстояния (метра пути). Оказывается, в каждой конкретной ситуации существует оптимальная по экономичности интенсивность мы-

шечной работы (например, скорость передвижения, при которой энергозатраты на метр пути минимальны).

Это утверждение настолько важно, что его справедливость должна быть доказана. Установлено, что показанная на рис. 53 зависимость энергетических затрат (E) от скорости передвижения (v) выражается многочленом второй степени:

$$E(v) = E_0 + b_1 v + b_2 v^2,$$

где E_0 — энергетические затраты в покое, b_1 и b_2 — коэффициенты регрессионного уравнения.

Разделив обе части уравнения на скорость, получим зависимость энергетической стоимости метра пути от скорости:

$$\frac{E(v)}{v} = \frac{E_0}{v} + b_1 + b_2 v.$$

Графическое изображение полученной зависимости (рис. 54) ясно показывает, что при сложении гиперболы ($\frac{E_0}{v}$) и линейного члена ($b_2 v$) получается кривая с минимумом в точке наиболее экономичной скорости (V_0)¹.

В-пятых, следует осуществлять оптимальные двигательные переключения.

К двигательным переключениям относятся:

- 1) изменение интенсивности мышечной работы (например, скорости передвижения);
- 2) изменение проявляемой в двигательном действии силы и скорости (например, длины и частоты шагов);
- 3) переход с одного способа выполнения двигательного задания на другой (например, круговое — импульсное педалирование, ходьба — бег, одновременный — попеременный лыжный ход и т. д.).

Двигательные переключения схожи с действиями шофера, который имеет возможность увеличить или уменьшить скорость нажатием на педали газа или тормоза, переключить скорость, на скользкой дороге надеть на колеса цепи.

Вопрос для самоконтроля знаний

Какой из названных выше разновидностей двигательных переключений аналогичен каждому из перечисленных способов изменения режима автомобильной езды?

¹ Для строгого доказательства существования наиболее экономичной скорости достаточно продифференцировать полученное выражение по v и убедиться в существовании экстремума типа минимума.

В отличие от других рассмотренных способов повышения выносливости оптимальные двигательные переключения дают возможность не только экономично расходовать энергетический потенциал, но и наиболее полно его использовать. И то и другое необходимо для проявления присущей человеку выносливости. Вначале расскажем о двигательных переключениях, делающих двигательную деятельность наиболее экономичной, а затем о переключениях, максимизирующих механическую производительность.

Оптимальная по экономичности интенсивность двигательной деятельности (например, скорость передвижения) зависит от физической работоспособности человека и меняется при изменении внешних условий. Чем выше физическая работоспособность и комфортнее условия, тем выше наиболее экономичная скорость. Если человек хочет передвигаться с минимальными энергозатратами, он должен изменить («переключить») скорость в соответствии с меняющимися условиями и собственным состоянием. Например, повышение температуры воздуха от $+20^{\circ}\text{C}$ до $+40^{\circ}\text{C}$ снижает наиболее экономичную скорость бега на 20%. К такому же эффекту приводит груз, если его тяжесть составляет 15—20% от веса тела.

Возникает вопрос: как узнать, какая интенсивность движений в каждой конкретной ситуации является оптимальной? Точный ответ на этот вопрос получен лишь для некоторых видов двигательной деятельности и возрастных групп (см. в главах 7, 8). Но есть возможность находить наиболее экономичную интенсивность интуитивно. Теоретической основой такой возможности служит принцип минимума энергозатрат, согласно которому психически нормальное живое существо произвольно организует свою двигательную деятельность так, чтобы свести к минимуму затраты энергии.

Стремление живых существ экономить энергию естественно. Ведь жизнь вне цивилизации чаще всего протекает в условиях недостатка пищи. Разные виды животных приспособились к этим условиям по-разному: медведь впадает в зимнюю спячку, степные черепахи и суслики — жители пустынь, наоборот, засыпают на несколько месяцев в самое жаркое время года и т. д. И человек как биологический вид формировался в беспрестанной борьбе за энергию и, в частности, научился самостоятельно находить наиболее экономичный двигательный режим. Вспомните, что сильно утомляют не только чрезмерно интенсивные движения, но и недостаточно энергичные, например при

ожидании в очереди или во время экскурсии, где энергозатраты хотя и невелики, но не оптимальны по экономичности, так как скорость передвижения ниже оптимальной (см. рис. 54). В подобных случаях усталость наступает не только потому, что произведена определенная работа, а в основном как расплата за нарушение принципа минимума энергозатрат. Природа тотчас штрафует за несоблюдение ее законов¹.

Если условия, в которых протекает двигательная деятельность, не изменяются, а усталость не возникает или ее удается преодолеть, то наименьших энергозатрат требует мышечная работа, интенсивность которой неизменна. Именно поэтому спортсменам в циклических видах спорта до недавнего времени рекомендовали от старта до финиша поддерживать постоянную скорость.

Задание для закрепления знаний

Пользуясь графиком, изображенным на рис. 53, докажете, что прохождение дистанции с постоянной скоростью всегда более экономично, чем тактика переменной скорости (при той же величине средней скорости).

Но тактика постоянной скорости далеко не всегда обеспечивает наивысшую механическую производительность (например, наивысшую среднюю скорость и наилучший результат на дистанциях циклических видов спорта). Лишь при мышечной работе, длящейся более 5—7 мин, тактика постоянной скорости оптимальна и по экономичности, и по механической производительности². При стремлении показать рекордный результат при менее продолжительном упражнении оптимальная «раскладка скорости» иная (рис. 55). Она характеризуется высокой стартовой скоростью и постепенным ее снижением по мере истощения запасов фосфагенной, а затем и лактаcidной энергетических систем.

Справедливость сказанного доказана методом имитационного моделирования двигательной деятельности на ЭВМ. Но суть вопроса понятна и без моделирования. Представьте себе двух людей с одинаковой экономичностью движений и одинаковым энергетическим потенциа-

¹ У детей реализация принципа минимума энергозатрат имеет свои особенности (см. в главе 5).

² Согласно классификации В. С. Фарфеля физическая работа, предельная продолжительность которой превышает 5 мин, относится к зонам большой и умеренной относительной мощности. Здесь имеется в виду, что человек работает, как говорится, до отказа, т. е. заканчивает выполнение упражнений в состоянии изнеможения.

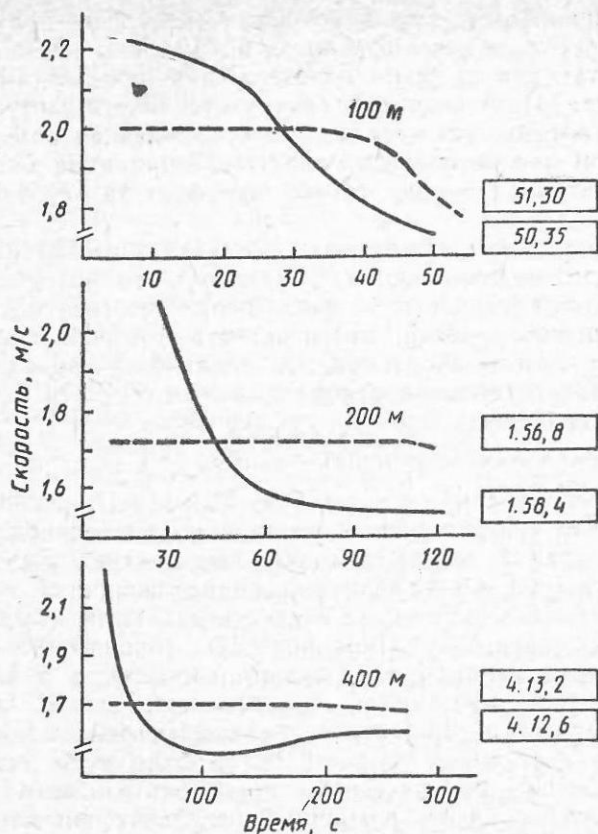


Рис. 55. Сравнение двух тактических вариантов проплывания дистанции 100, 200, 400 м:

———— тактика «с сильным началом»;
 - - - - тактика равномерной скорости;
 цифры в рамке — соревновательные результаты

лом. Кто из них продемонстрирует более высокую выносливость? Или, другими словами, кто из них за одно и то же время выполнит больший объем работы или преодолеет большее расстояние? Очевидно, преимущество будет за тем, кто сумеет более полно исчерпать свои энергетические ресурсы. Затратив больше труда, он по закону сохранения энергии сможет выполнить больший объем работы. Обратите, что согласно правилу обратимости двигательных заданий (см. в главе 3) победитель этого конкурса будет

первым и в том случае, когда необходимо как можно быстрее выполнить определенный объем работы или преодолеть заданную дистанцию. А для более полного исчерпания энергетического потенциала необходимо с первых же секунд упражнения поставить энергетические системы в наиболее трудные условия, т. е. сделать механическую мощность как можно более высокой. Именно с этой целью график изменения скорости следует выбирать таким, как показано на рис. 55.

Даже при стремлении к наивысшей механической производительности (например, на спринтерских и средних дистанциях) не следует забывать об экономичности движений. Но в этом случае экономичность играет роль второго по значимости критерия оптимальности. Например, при любой, сколь угодно высокой скорости передвижения существует оптимальное по экономичности сочетание длины и частоты шагов, которое зависит от скорости. Оптимизируя технику двигательных действий в каждом шаге, можно сэкономить энергию и использовать ее для того, чтобы еще более повысить скорость.

В заключение рассказа о биомеханических основах выносливости два замечания.

Первое замечание. Все сказанное о способах повышения выносливости относится как к циклической, так и к ациклической двигательной деятельности. Примеры, относящиеся к бегу и другим циклическим локомоциям, приведены лишь потому, что они просты и понятны каждому.

Задание для самоконтроля и закрепления знаний

Сформулируйте практические советы человеку, занимающемуся вашим любимым видом спорта, в соответствии с приведенными выше пятью группами рекомендаций о том, как повысить выносливость.

Второе замечание. К биомеханическим способам повышения выносливости необходимо приобщать человека еще в школьном возрасте.

Ибо исправить технику двигательных действий гораздо труднее, чем сформировать ее с самого начала правильно. И не случайно столь распространены и живучи неправильная осанка, неестественно замедленная ходьба, а у спортсменов — непонимание необходимости оптимизировать энергозатраты, предрассудок о целесообразности равномерной раскладки скорости независимо от длины дистанции и т. п. Все эти несовершенства двигательной культуры могут быть исправлены только на основе знания и

повседневного использования биомеханических закономерностей.

Вопрос для самоконтроля знаний

Существуют два представления о выносливости. Их суть ясна из рис. 27 и 50. В чем основное различие между ними?

БИОМЕХАНИКА СИЛОВЫХ И СКОРОСТНЫХ КАЧЕСТВ

Двигательные качества взаимосвязаны. В полной мере демонстрируя одно из них, мы, как правило, лишаемся возможности блеснуть в другом. Эта закономерность особенно ярко проявляется во взаимоотношениях между силой и быстротой. Например, при бросании снарядов разной массы (рис. 56) тяжелый снаряд невозможно разогнать до высокой скорости. А при метании легкого снаряда, наоборот, максимальная скорость велика, но зато проявляемая сила незначительна. Точки на корреляционных полях на рис. 56 получены в результате многочисленных измерений, в которых человек метал один и тот же снаряд с разной

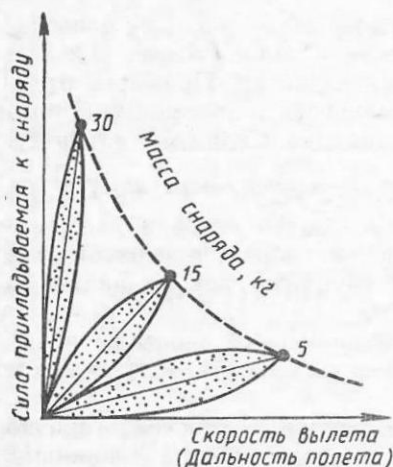


Рис. 56. Зависимость между скоростью вылета и силой, прикладываемой к снаряду при разных величинах массы снаряда (пунктир — зависимость между максимальными величинами скорости вылета и силы, прикладываемой к снаряду)

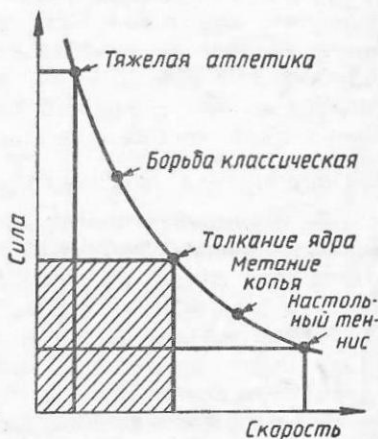


Рис. 57. Некоторые спортивные упражнения, относящиеся к силовым, скоростно-силовым и скоростным; мощность равна произведению силы на скорость; заштрихованная часть рисунка соответствует наибольшей мощности

силой. Величины силы и скорости вылета (или дальности полета), соответствующие лучшему результату, соединены пунктирной линией. Важно уяснить, что полученная гиперболическая зависимость (пунктир на рис. 56) отображает взаимосвязь между наибольшими, рекордными величинами силы и скорости: чем выше максимальная сила, тем ниже максимальная скорость. В то же время при неопредельных величинах силы и скорости имеет место иная зависимость между ними: чем больше сила, тем больше скорость вылета снаряда и дальность его полета.

Вопросы для самоконтроля знаний

1) Что такое корреляционное поле и как его построить?

2) Какие зависимости называются гиперболическими?

Примечание. Если затрудняетесь ответить на эти вопросы, обратитесь к учебной и справочной литературе по математической статистике или спортивной метрологии и элементарной математике.

3) В чем сходство и различие между графиками на рис. 56 и кривой Хилла (см. рис. 14).

Взаимосвязь между демонстрируемой силой и быстротой столь неразрывна, что порой трудно провести четкие границы между силовыми, скоростно-силовыми и скоростными качествами, а также и упражнениями, требующими проявления этих качеств. Однако с уверенностью можно сказать, что, например, жим штанги и подтягивание на перекладине — силовые упражнения; толкание ядра, метание диска, копья и мяча — скоростно-силовые, а удары в настольном теннисе — скоростные (рис. 57). Какие же закономерности характерны для упражнений этих трех типов?

Сила тяги мышцы зависит в основном от ее поперечника. Ведь количество мышечных волокон к концу первого года жизни достигает максимума и в дальнейшем почти не меняется. Взрослый спортсмен гораздо сильнее годовалого младенца из-за гипертрофии мышц. В результате физических тренировок поперечник мышечного волокна может увеличиться в несколько десятков раз.

Тренировки не только способствуют образованию рельефной мускулатуры, но и создают возможность более полной мобилизации двигательных единиц. Благодаря этому обычный человек, состязаясь в силе, проявляет не более 50% максимальной силы, а тренированный атлет — до 70%. Лишь в стрессовой ситуации, в состоянии аффекта люди выходят за свои пределы. И тогда совершают «чуде-

са»: в одиночку поднимают грузовик, придавивший ребенка, или спасают из огня кованный сундук с драгоценностями.

Для того чтобы в полной мере проявить силовые качества, нужна эффективная техника движений.

Эффективность техники выполнения силовых упражнений в значительной мере зависит от величины углов в суставах. При оптимальных суставных углах сила тяги мышц используется наиболее полно. Например, для удержания одного и того же груза при оптимальном угле в локтевом суставе мышца должна развить значительно меньшую силу, чем при других величинах суставного угла (см. рис. 28).

Задание

Докажите, что оптимальный угол в локтевом суставе при удержании груза согнутой рукой (см. рис. 28) близок к 80° .

Скоростные качества в чистом виде проявляются в том случае, когда даже очень высокие ускорения возникают без значительных мышечных усилий. Согласно второму закону Ньютона это возможно, когда перемещаемая масса незначительна.

Задание для самоконтроля и закрепления знаний

Докажите, что одна и та же сила вызывает тем большее ускорение, чем меньше перемещаемая масса. Для иллюстрации воспользуйтесь, например, сведениями о массе спортивных мячей. Вес мяча для настольного тенниса — 2,4 г, для тенниса — 57 г, для хоккея с мячом — 60 г, волейбольного — 270 г, футбольного — 450 г, баскетбольного — 650 г.

Увеличение внешних сил, которые приходится преодолевать за счет силы мышечной тяги, приводит к удлинению латентного периода двигательной реакции и к уменьшению скорости (как максимальной скорости одиночного движения, так и максимального темпа циклических движений).

БИОМЕХАНИКА УСТОЙЧИВОСТИ

Устойчивость иногда рассматривают как самостоятельное двигательное качество. Это имеет смысл, поскольку биомеханические механизмы устойчивости отличаются от тех, которые обеспечивают высокую выносливость, силу, быстроту, гибкость и ловкость.

В основе устойчивости, как и вообще в основе координации движений, лежит принцип обратной связи. Отклонение от устойчивого положения вызывает действия, направленные на ликвидацию отклонения.

Ортоградную (вертикальную) позу человека и устойчивость в других позах обеспечивают три цепи обратной связи:

1) замыкающаяся через центр равновесия во внутреннем ухе;

2) замыкающаяся через зрительный анализатор и связанная с внешними ориентирами;

3) кинестетическая (основанная на ощущениях положения своего тела в пространстве), она замыкается через проприорецепторы мышц.

Все три названные системы стабилизации позы действуют одновременно, и отклонения позы от избранной обнаруживаются и устраняются тем быстрее, чем лучше состояние нервной системы. Функционирование стабилизирующих систем проявляется в треморе (непроизвольных колебаниях) звеньев тела. Частота тремора тем выше и, следовательно, амплитуда тем меньше, чем лучше физическая, техническая, а также и психологическая подготовленность человека.

Вопрос

Почему снижение частоты тремора закономерно приводит к увеличению амплитуды и делает тремор видимым (как это имеет место при эмоционально-возбужденном состоянии и некоторых заболеваниях)?

Но устойчивость определяется и чисто механическими факторами. Так, выход вертикальной проекции общего центра масс тела за пределы площади опоры приводит к падению. Общее правило гласит: **тело сохраняет устойчивое положение при условии, что сумма действующих на него сил равна нулю и сумма их моментов тоже равна нулю.**

Вопросы

1) В каких видах спорта или разновидностях физических упражнений устойчивость особенно сильно влияет на результативность двигательной деятельности?

2) Как надо изменить позы спортсменов, изображенных на рис. 19, 21, 34, 36, чтобы вывести их из устойчивого положения?

Биомеханика не только контролирует двигательные ка-

чества (см. в главе 3) и изучает их закономерности, но ищет пути их совершенствования. Важную роль здесь играют биомеханические тренажеры.

Биомеханические тренажеры

Тренажером называется техническое приспособление, позволяющее в искусственно созданных условиях совершенствовать технико-тактическое мастерство и развивать двигательные качества.

При конструировании и подборе тренажеров для развития двигательных качеств и технической подготовки нужно стремиться к тому, чтобы выполняемое на тренажере и основное соревновательное упражнение были одинаковыми по топографии работающих мышц, относительной мощности и характеру внешнего сопротивления. Внешнее сопротивление может задаваться силами неодинаковой фи-

Т а б л и ц а 10

Применение тренажеров в зависимости
от физической природы сил сопротивления движению

Физическое явление	Основной элемент тренажера	Зависимость силы сопротивления (F) от удлинения пружины (Δl), скорости (v), массы (m), ускорения (a), веса (mg)	Область практического применения
Упругость	Пружина	$F = k \cdot \Delta l$	Скоростно-силовые виды спорта
Инертность	Инерционный динамометр	$F = m \cdot a$	Метания
Гравитация и инертность	Груз, подвешенный через блок	$F = mg + ma$	Тяжелая атлетика
Трение сухое	Веревка, перекинутая через блок	$F = \text{const}$	Борьба
Трение вязкое	Весло, перемещаемое в вязкой жидкости	$F = kv$	Гребля
Гидравлическое сопротивление	Гидроцилиндр	$F = kv^2$	Плавание

зической природы. И в зависимости от этого разные тренажеры пригодны для освоения различных спортивных движений (табл. 10).

Контрольные вопросы

1. Назовите основные факторы выносливости, приведите примеры.
2. Из каких фракций состоит механическая работа, совершаемая человеком при выполнении физических упражнений?
3. Какими способами можно повысить экономичность двигательной деятельности?
4. Какие двигательные переключения могут быть использованы для повышения:
 - экономичности двигательной деятельности?
 - механической производительности?
 Приведите примеры.
5. В чем состоит принцип минимума энергозатрат?
6. Как взаимосвязаны силовые и скоростные качества?
7. От каких основных факторов зависит сила тяги мышцы и сила, проявляемая человеком («сила действия»)? Чем объяснить их неодинаковость?
8. По каким критериям выбирается тренажер для развития скоростных и силовых качеств в конкретном виде спорта?
9. Какие условия обеспечивают устойчивость тела?
10. Решите чайнворд (рис. 58).

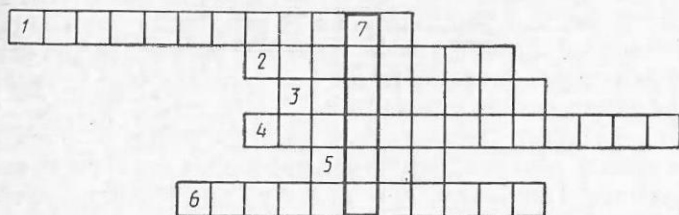


Рис. 58. Чайнворд.

1. Физическое качество, обеспечивающее возможность длительно выполнять физическую работу.
 2. Величина, являющаяся функцией времени и расстояния.
 3. Устройство для развития определенных физических качеств.
 4. Один из факторов, определяющих выносливость.
 5. Физическое качество, тесно связанное со скоростью.
 6. Сохранение энергии при движениях.
- Если вы правильно отгадаете значения слов, зашифрованных по горизонтали, в выделенной колонке по вертикали (7) получите название физического явления, объясняющего существование одной из внешних сил, действующих на человека при передвижении

ГЛАВА 5. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ БИОМЕХАНИКА

Нет в природе такого явления, суть которого можно понять, не вникая в то, как оно возникло... Каждое явление окружающего нас мира имеет свою биографию, и мы не можем обсуждать это явление, не ознакомившись с нею.

Н. А. Бернштейн

К ребенку — с величайшим уважением!

Дифференциальной биомеханикой называется раздел биомеханики, изучающий индивидуальные и групповые особенности двигательных качеств и двигательной деятельности людей.

ТЕЛОСЛОЖЕНИЕ И ДВИГАТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Двигательные возможности человека зависят от особенностей телосложения:

- длины и массы тела;
- пропорций тела — соотношения размеров отдельных частей тела (туловища, конечностей);
- особенностей конституции.

Пропорции и размеры тела у людей существенно различаются, неодинаковы и их двигательные возможности. При одном и том же уровне физической подготовленности люди с большей массой тела обладают большей мышечной силой (рис. 59). В то же время относительная мышечная сила (в расчете на 1 кг массы тела) с увеличением размеров тела снижается.

При ходьбе и беге длина и частота шагов в значительной степени обусловлены размерами тела и, прежде всего, длиной ног. Например, при одной и той же длине тела дети более старшего возраста делают при беге шаги большей длины, что отчасти объясняется тем, что у них в среднем более длинные ноги.

Анатомо-физиологические особенности влияют и на кинематику движений, и на тактику двигательной деятельности. В процессе возрастного развития происходит значительное изменение размеров и строения тела. В связи с этим изменяется и режим передвижения, произвольно выбираемый человеком. Выбор скорости, а также длины и частоты шагов определяется доминирующим критерием оп-

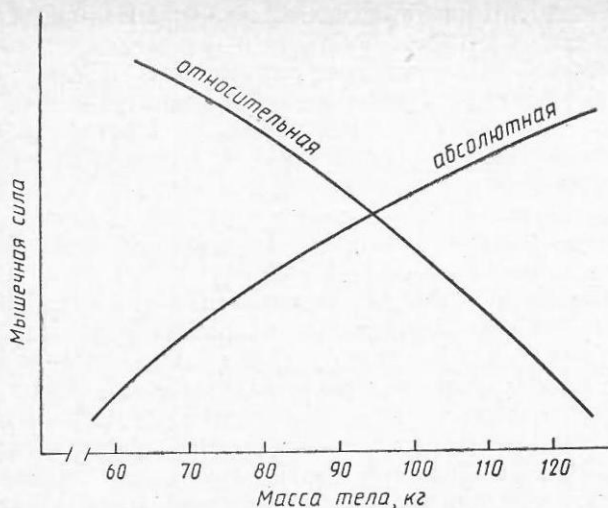


Рис. 59. Изменение абсолютной и относительной мышечной силы в зависимости от массы тела

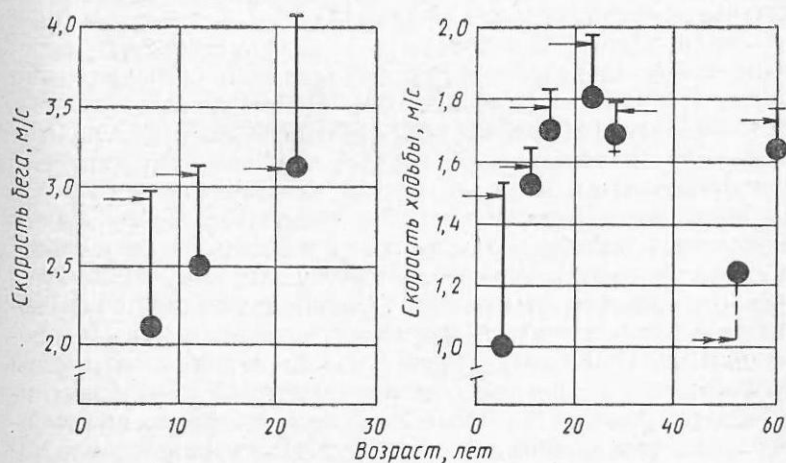


Рис. 60. Произвольно выбираемые (показано стрелками) людьми разного возраста режимы бега и ходьбы; ● — зона экономичных режимов, нижней границей которой (●) является наиболее экономичная (оптимальная) скорость передвижения, верхней — анаэробный порог; двойной стрелкой показана скорость, выбираемая людьми с заболеваниями сердечно-сосудистой системы; + — женщины

тимальности, который постепенно трансформируется по мере перехода от детского возраста к зрелому.

Основным естественным критерием оптимальности, сформировавшимся в ходе возникновения и развития жизни на Земле, является экономичность. Поэтому согласно принципу минимума энергозатрат в нормальных условиях взрослый человек самостоятельно выбирает такой режим передвижения (скорость, длину и частоту шагов и т. п.), при котором затраты энергии на единицу преодоленного расстояния минимальны (см. рис. 54).

В отличие от взрослых естественная двигательная деятельность ребенка направлена на развитие и совершенствование органов и систем организма. Она организуется в соответствии с энергетическим правилом скелетных мышц (сформулированным И. А. Аршавским), согласно которому процессы развития и восстановления эффективны лишь при условии интенсивной двигательной деятельности. Установлено, что при ходьбе и беге детей дошкольного возраста принцип минимума энергозатрат нарушается. **Произвольно выбираемый детьми режим движений более интенсивен по сравнению с энергетически оптимальным** (рис. 60). По мере перехода к подростковому и юношескому возрасту это отличие сокращается, практически исчезая к завершению полового созревания.

Люди пожилого возраста и в особенности люди с ослабленным здоровьем выбирают скорость передвижения ниже оптимальной (см. рис. 60). По-видимому, у человека, перенесшего травму, инфаркт миокарда или другое серьезное заболевание, на первый план выходит критерий безопасности.

Индивидуальные особенности влияют не только на оптимальную технику, но и на оптимальную тактику двигательной деятельности. На рис. 61 изображены графики оптимальной динамики мощности при стремлении к наивысшему спортивному результату на соревнованиях по велоспорту (трек), плаванию, бегу и другим циклическим видам спорта, если на преодоление дистанции затрачивается не более 5—7 мин. Механическая мощность должна изменяться у разных людей по-разному, потому что возможности энергетических систем у них различны. Так, у детей мощность окислительной системы (МПК) и емкость лактаcidной системы значительно ниже, чем у взрослых.

Задание для самоконтроля и закрепления знаний

Нарисуйте оптимальные раскладки скорости на корот-

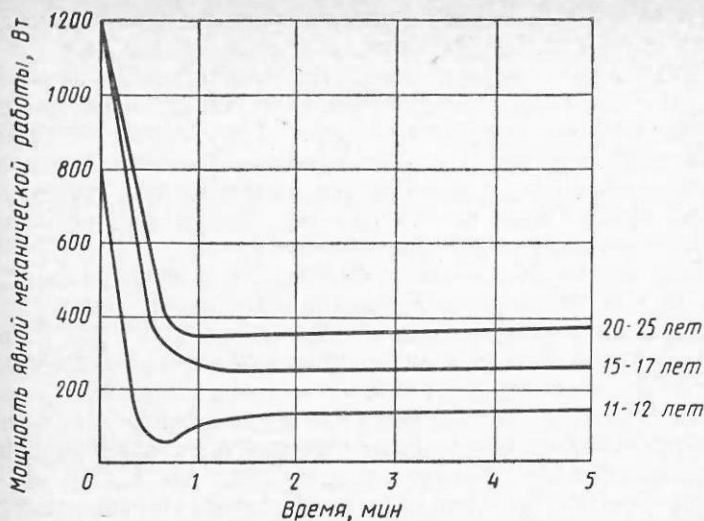


Рис. 61. Оптимальная по производительности динамика механической мощности у людей разного возраста

кой, средней и длинной дистанции, если основным критерием оптимальности является: а) экономичность; б) механическая производительность.

ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Совершенствование двигательных возможностей в процессе возрастного развития происходит под влиянием двух факторов: созревания и научения. Созревание — это генетически обусловленное совершенствование систем организма. Научение — результат педагогического воздействия. Взаимодействие этих факторов может носить различный характер: нейтральный, синергический (однонаправленный) или антагонистический (противоположный). Причем при синергическом взаимодействии суммарный эффект больше, чем сумма эффектов от каждого фактора.

У детей, воспитывающихся в обычных условиях, существует определенная последовательность овладения основными двигательными действиями. При исследовании близнецов установлено, что ребенок, находящийся в обществе других людей, обучается брать в руку игрушку, сидеть, стоять и ходить в определенные сроки независимо от того,

обучали его или нет. Это пример нейтрального взаимодействия обучения и созревания.

Дети, лишенные человеческого общества, не овладевают типичными для человека видами двигательной деятельности, например прямохождением. Тому немало исторических свидетельств — например, жизнь Гаспара Хаузера — юноши, который в младенческом возрасте был заключен в одиночную камеру и, никогда не видя людей, не владел типично человеческими движениями.

Педагогическое воздействие эффективно лишь при условии, что достигнута определенная степень зрелости организма. В жизни человека есть сенситивные периоды — наиболее благоприятные для овладения различными двигательными действиями или двигательными качествами. Сходное с этим явление импринтинга (запечатлевания) наблюдается у животных: соответствующая двигательная реакция появляется сразу, как бы в готовом виде, но лишь в том случае, когда стимул, вызывающий эту реакцию, предъявляется в строго определенный период жизни. Например, цыпленок неотступно следует за наседкой или любым движущимся предметом (ботинком, мячом, кошкой и т. д.), который первым попал в поле его зрения после вылупления из яйца.

Задача педагога — приурочить обучающие мероприятия к сенситивному периоду развития и тем самым добиться синергизма процессов созревания и научения. Установлено, что в эти периоды можно достичь положительных сдвигов, применяя даже небольшой объем тренировочных упражнений на уроках физкультуры в школе.

Представление о сенситивных периодах развития некоторых двигательных качеств дает рис. 62, из которого видно, что начинать обучение ребенка, например, игре в настольный теннис целесообразно с 9—10-летнего возраста. Теория сенситивных периодов учитывается и при дозировании упражнений, нацеленных на развитие двигательных качеств (табл. 11).

Чрезмерно раннее обучение мешает освоению двигательных действий. Ранняя спортивная специализация также препятствует достижению высоких спортивных результатов в зрелом возрасте, особенно в силовых и скоростно-силовых видах спорта. Например, атлетической гимнастикой и другими силовыми упражнениями не следует заниматься до того, как закончится созревание фосфагенной энергетической системы, т. е. до 16—17 лет. В противном случае научение и созревание окажутся антагонистами, в

**Рекомендации к подбору упражнений при занятиях
с детьми школьного возраста
(по В. Д. Сонькину, 1987 г.)**

Упражнения		Возраст, лет										
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Упражнения на выносливость	Медленный бег (50% от максимальной скорости), длительность 6—12 мин	***	***	**	**	**	**	**	*	*	*	*
	Лыжная подготовка или кроссовый бег	**	**	*	*	**	**	**	**	**	**	**
	Прыжковые упражнения	***	***	***	**	**	*	*	**	**	*	*
	Подвижные игры (футбол, хоккей, баскетбол, теннис)	***	***	*	*	*	*	**	**	**	*	*
Упражнения для развития силы	Упражнения на перекладине и брусьях	*	*	*	**	**	**	**	*	**	**	**
	Упражнения с гантелями, гирей, штангой	*	*	*	**	**	**	**	*	**	**	**
Упражнения для развития быстроты	Упражнения для развития силы мышц туловища и брюшного пресса	**	**	*	**	**	**	**	*	**	**	**
	Броски, много-скоки, прыжки через гимнастическую скамейку и т. п.	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**
	Подвижные игры (баскетбол, волейбол, настольный теннис)	***	***	**	**	**	**	*	*	*	*	*

Примечание. Чем больше звездочек, тем больше должен быть объем данного вида упражнений в занятии.

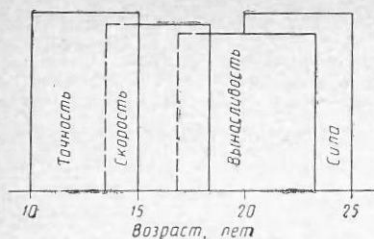


Рис. 62. Сensitive периоды развития основных двигательных качеств

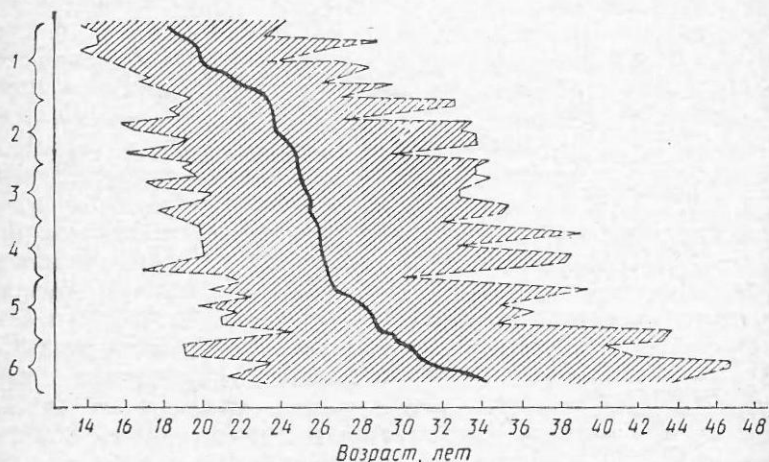


Рис. 63. Возраст финалистов и олимпийских чемпионов в разных видах спорта:

1 — фигурное катание, плавание, гимнастика; 2 — спортивные игры, бокс, горные лыжи; 3 — гребля, конькобежный спорт, хоккей; 4 — водное поло, борьба, легкая атлетика; 5 — лыжные гонки, фехтование, биатлон, пятиборье; 6 — парусный, стрелковый, конный спорт (сплошной линией показаны средние значения возраста спортсменов, пунктир — минимальные и максимальные величины) (по Л. Б. Гороховскому)

результате чего занятия физкультурой принесут не пользу, а вред растущему организму.

В каждом виде двигательной деятельности есть возрастной диапазон, в котором достигаются самые высокие спортивные результаты. В подавляющем большинстве случаев границы этого диапазона простираются от 16 до 30 лет — это возраст расцвета двигательных возможностей человека. В разных видах спорта собраны данные о возрасте, в котором большая часть спортсменов достигает выдающихся успехов (рис. 63). Совершенно очевидно, что средний возраст победителей крупнейших международных соревнований тесно связан с периодом достижения наивысшего уровня ведущего в данном виде спорта двига-

тельного качества. Например, во многих циклических видах спорта важнейшим качеством является выносливость, достигающая наибольших величин в зрелом возрасте. В этой связи в легкой атлетике, например, наблюдается тенденция увеличения среднего возраста чемпионов с удлинением дистанции: с 22 лет в беге на 100 м до 26 лет на дистанции 1500 м и до 31 года в марафоне.

Двигательные возможности человека интенсивно развиваются в юности и постепенно затухают в зрелом возрасте. До известной степени это компенсируется тренировкой и опытом (рис. 64), особенно в видах двигательной деятельности со сложной техникой и тактикой. Например, всемирно известный советский вратарь Лев Яшин даже в 40-летнем возрасте демонстрировал отменное технико-тактическое мастерство и играл не только в составе сборной СССР, но и за сборную мира.

ДВИГАТЕЛЬНЫЙ ВОЗРАСТ

Если измерить результаты выполнения какого-либо двигательного задания у большой группы детей одного возраста (например, 9 и 10 лет), то можно определить их средние достижения (рис. 65). В той же группе обязательно

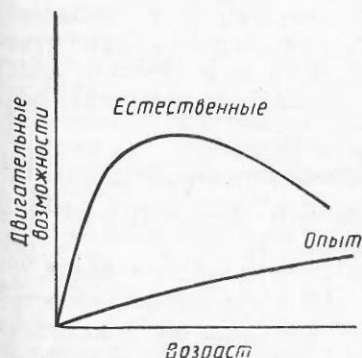


Рис. 64. Возрастные изменения двигательных возможностей — естественных и связанных с опытом человека в данном виде двигательной деятельности

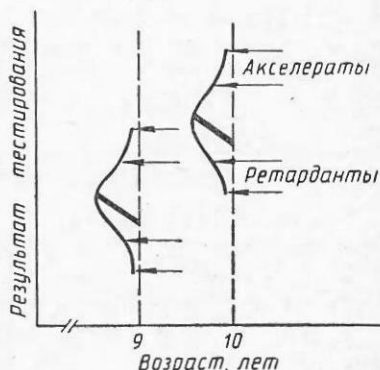


Рис. 65. Результаты, показанные детьми в возрасте 9 и 10 лет при выполнении одного и того же двигательного задания: стрелками показаны результаты акселератов (выше среднего уровня) и ретардантов (ниже среднего уровня); на рисунке видно, что результаты акселератов младшего возраста могут превышать результаты ретардантов старшего возраста

окажутся дети, чей результат превысит средний уровень,— у них двигательный возраст опережает календарный. Таких детей называют акселератами в отличие от ретардантов, чей двигательный возраст отстает от календарного. Акселераты в одних двигательных заданиях могут быть ретардантами в других. Например, ребенок может опережать своих сверстников в силовых упражнениях и отставать в упражнениях, требующих выносливости или меткости.

Существование акселератов и ретардантов легко объяснить. Дело в том, что темпы развития двигательных возможностей существенно зависят не только от генетически обусловленных индивидуальных особенностей, но и от условий жизни: они замедляются при болезни или недостаточном питании. После нормализации условий отмечается ускорение развития, и ребенок возвращается, как говорят, в свой «канал развития».

Для оценки двигательного возраста разработаны таблицы, в которых представлены средние для данного календарного возраста результаты выполнения различных двигательных заданий. Применяя такие таблицы, следует учитывать, что показатели двигательного возраста в разных регионах страны (и в разных странах) могут существенно различаться в силу климатических условий, этнографических особенностей, социальных факторов. В качестве такой таблицы могут использоваться, например, нормативы Всесоюзного комплекса ГТО.

Вопросы для самоконтроля знаний

1. Какие факторы выносливости и скоростных качеств совершенствуются, а какие ухудшаются:

- а) при переходе от младенческого возраста к зрелому?
- б) по мере перехода к среднему и пожилому возрасту?

2. Всегда ли у двигательных ретардантов показатели двигательных качеств ниже, чем у акселератов? Например, как вы назовете 60-летнего человека, который по своим двигательным возможностям не уступает 40-летнему?

ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИВНОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОТОРИКИ

Часто встает вопрос о том, каковы будут двигательные возможности человека спустя несколько лет, например ребенка, когда он станет взрослым. Ответить на этот вопрос помогают материалы исследований наследственных вли-

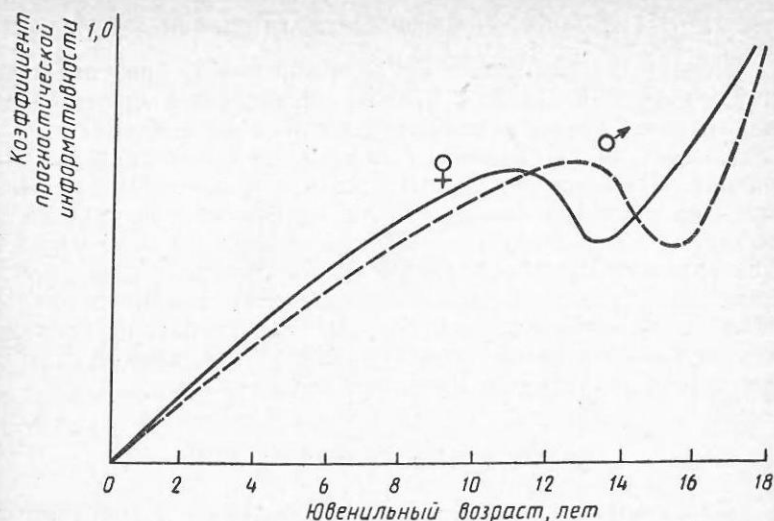


Рис. 66. Коэффициент корреляции между величинами двигательных возможностей в дефинитивном и ювенильном возрасте в зависимости от ювенильного возраста (в данном случае дефинитивный возраст 18 лет)

яний (спортивных семей, близнецов и т. п.), а также лонгитудинальные (т. е. длительные, на протяжении ряда лет) наблюдения за показателями моторики детей.

Возраст, когда осуществляется прогнозирование, принято называть ювенильным. Величины показателей, зарегистрированные в этом возрасте, называются ювенильными показателями. В отличие от них дефинитивные показатели можно будет зарегистрировать в дефинитивном возрасте, для которого делается прогноз. Например, значения показателей в детском возрасте называют ювенильными, а во взрослом — дефинитивными. Мерой прогностической информативности показателей моторики является коэффициент корреляции между значениями ювенильных и дефинитивных показателей. Наиболее уверенный прогноз дают показатели моторики, измеренные в препубертатном возрасте (рис. 66). В период полового созревания прогностическая информативность снижена, что связано с происходящими в организме изменениями.

По достижении 17—18 лет она снова возрастает, приближаясь к максимальному значению, равному надежности (стабильности) теста.

Вопрос для самоконтроля знаний

Почему коэффициент корреляции между результатом двух измерений одного и того же показателя в одном и том же возрасте равен надежности теста, а не единице?

Стабильность различных показателей моторики неодинакова. Наиболее стабильны показатели выносливости. Например, величина коэффициента надежности результата в плавании увеличивается с 0,44 на отрезке 50 м до 0,85 на дистанции 800 м. Наименьшей стабильностью обладают показатели, характеризующие точность попадания в цель, особенно у детей и подростков. По мере возрастного развития человека и повышения спортивной квалификации стабильность показателей моторики увеличивается.

ДВИГАТЕЛЬНЫЕ ПРЕДПОЧТЕНИЯ

Большинство людей выполняет бытовые и спортивные движения определенной рукой, ногой, в одну и ту же сторону и т. п. Такие двигательные асимметрии называют двигательными предпочтениями. Предпочитаемая сторона или конечность называется доминантной. Люди, которые одинаково владеют обеими конечностями, называются амбидекстриками (от лат. «амбо» — оба, «декстер» — правый).

Существует представление, что примерно 25% людей рождается праворукими, 25% — леворукими и 50% — амбидекстриками. Затем под влиянием социальных факторов все амбидекстрики и большая часть левшей становятся праворукими. Этим объясняется тот факт, что в развитых странах подавляющее большинство людей предпочитают пользоваться правой рукой, правая нога является маховой, а повороты они обычно делают в левую сторону. У отсталых в своем развитии племен обнаружено примерно равное количество право- и леворуких. Таким образом, никаких объективных причин для предпочтительного пользования правой рукой нет, за исключением традиций, сложившихся исторически.

В спорте умение выполнять технические действия в обе стороны считается признаком высокого спортивного мастерства, особенно в единоборствах и спортивных играх. Однако такие двигательные амбидекстрики встречаются довольно редко, в спортивных играх они составляют лишь около 5% мастеров спорта. Основы такого мастерства нужно закладывать на ранних этапах обучения спортивной технике.

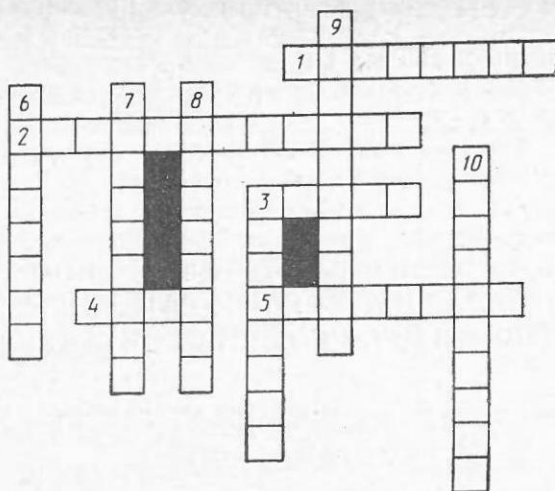


Рис. 67. Кроссворд.

По горизонтали. 1. Двигательное качество, сенситивный период развития которого начинается примерно с 9-летнего возраста. 2. Человек, у которого отсутствуют двигательные предпочтения. 3. Обладатель редкого двигательного предпочтения. 4. Физическое качество, проявления которого существенно зависят от размеров тела. 5. Отличительный признак, мерило, по которому производится выбор двигательного режима.

По вертикали. 3. Двигательное качество, представляющее собой комплекс качеств, его развитие наиболее быстро происходит в детском и подростковом возрасте. 6. Процесс освоения движений в результате педагогического воздействия. 7. Однонаправленное взаимодействие факторов. 8. Человек, двигательный возраст которого отстает от календарного. 9. Генетически обусловленный процесс, обеспечивающий развитие физических качеств. 10. Явление, наблюдаемое у животных,—аналог сенситивного периода развития движений

Контрольные вопросы

1. Как влияют размеры тела на основные двигательные качества?
2. Как связаны двигательные возможности человека с его возрастом?
3. Как взаимодействуют созревание и научение в разные периоды возрастного развития?
4. Чем различаются показатели календарного и двигательного возраста, в каких случаях они совпадают?
5. В чем состоит отличие акселератов от ретардантов?
6. О чем может свидетельствовать высокая величина коэффициента корреляции между ювенильными и дефинитивными значениями двигательных показателей?

7. Какие периоды в жизни человека называют сенситивными?

8. Почему в разных видах спорта существует возрастной диапазон, в котором спортсмены чаще добиваются выдающихся результатов?

9. Что означает выражение «доминантная рука»?

10. Решите кроссворд (рис. 67).

ГЛАВА 6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСНОВ БИОМЕХАНИКИ В ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ФИЗИЧЕСКОМУ ВОСПИТАНИЮ

Затруднение не в вопросе, что нужно сделать, но как это сделать. А это вопрос педагогической техники.

А. Макаренко

**От метода проб и ошибок —
к целенаправленному обучению!**

Педагогические приемы современной биомеханики базируются на основополагающих принципах дидактики. В их числе: систематичность обучения, сознательность, активность, наглядность и доступность¹.

На уроках физкультуры в школе, так же как на занятиях в спортивных секциях и группах здоровья, преподаватель сталкивается с многочисленностью обучаемых и неодинаковостью их физической и технико-тактической подготовленности. Эти трудности можно преодолеть, опираясь на глубокое знание основ биомеханики, перечисленные выше дидактические принципы, а также на идеи и методы программированного обучения, педагогической кинезиологии и суггестологии.

ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ ТЕХНИКЕ И ТАКТИКЕ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

При программированном обучении учебный процесс осуществляется по определенной обучающей программе. Учебный материал и деятельность обучаемого расчленяются на «порции» и «шаги». Обучающая программа закладывается

¹ Студенты знакомятся с принципами дидактики при изучении педагогики, а также теории и методики физического воспитания.

или в специальное обучающее устройство, или в программированный учебник.

После каждого «шага» проверяется освоение обучаемым очередной «порции» знаний и навыков. Этим обеспечивается возможность приспособления быстроты обучения к индивидуальным особенностям ученика.

Итак, при использовании программированного обучения весь объем знаний и умений «квантуется», т. е. разделяется на небольшие порции («кванты»), передаваемые ученику в определенной последовательности. Сделать это можно, если четко сформулировать цели и задачи обучения на каждом уроке, в каждой части урока и в отдельных двигательных заданиях.

ОСНОВЫ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ КИНЕЗИОЛОГИИ

Четкое формулирование целей и способов их достижения на каждом этапе обучения позволяет реализовать дидактические принципы сознательности и активности. Обучение становится целенаправленным. Обучаемому дается возможность заранее увидеть всю последовательность обучающих мероприятий и осознанно переходить от этапа к этапу. Так подходят к организации процесса обучения в педагогической кинезиологии¹.

Необходимость нового подхода, развивающего идеи программированного обучения, обусловлена тем, что разучивание двигательных действий существенно отличается от освоения теоретических знаний. При выполнении физических упражнений возможен и необходим не только логический, но и образный, и чувственный самоконтроль. Другими словами, в процессе обучения ученику следует сообщить и дать почувствовать:

1) что он должен делать (на этой информации основывается логический самоконтроль);

2) что он будет ощущать при правильном выполнении двигательного действия.

Тем самым в сознании ученика связываются воедино смысловой, зрительный и кинестетический образы двигательного действия.

Центральным понятием педагогической кинезиологии является модель оптимальной техники. Как правило, это — словесное описание рациональной техники, иллюстрированное рисунками и содержащее:

¹ См.: Гросс Х. Х. Методология педагогической кинезиологии. — Таллин, 1987.

1) описание фазового состава двигательного действия;
2) описание и фотографии (или схематические изображения) оптимальных граничных поз, которые человек должен принимать в начале и в конце каждой фазы (без остановки движения);

3) перечисление целей, к которым нужно стремиться при выполнении всего двигательного действия и каждой из его фаз, и задач, которые нужно решить для достижения целей.

Когда специалисты по педагогической кинезиологии обдумывают и формулируют модель, они исходят из представления о двигательном действии как системе, которая характеризуется составом и структурой, т. е. прежде всего стараются понять, из каких пространственных и временных элементов (элементарных действий) состоит целостное действие и по каким закономерностям организована взаимосвязь между ними.

Все это, вместе взятое, дает педагогу и ученику ориентиры, которые помогают значительно ускорить обучение и обучать сразу правильно, минуя этап проб и ошибок.

Иллюстрацией сказанного могут служить те разделы глав 7, 8 и 9, которые посвящены кинематике ходьбы, бега, передвижения на лыжах и плавания и оптимизации техники в этих видах циклических локомоций. Там содержатся сведения, соответствующие четырем «языкам», которыми можно описать технику.

Первый язык (что вижу) — описание «видимых фактов», или внешней картины движений. Этот язык понятен всем, кто участвует в обучении:

— ученику (от которого нельзя требовать знаний по биомеханике);

— учителю или тренеру (который тоже не всегда имеет хорошую биомеханическую подготовку);

— специалисту, глубоко разбирающемуся в закономерностях двигательной деятельности.

Второй язык (почему так происходит) — описание биомеханических механизмов, обеспечивающих оптимизацию двигательных действий. Это язык специалистов, овладевших биомеханикой хотя бы в объеме первых пяти глав настоящего учебного пособия.

Третий язык (что рекомендую, требую) предназначен для учителя физкультуры или тренера.

И наконец, четвертый язык (как должно быть и что при этом ощущаю) предназначен для ученика. Например, спортсмену необязательно знать, каковы величины су-

ставных углов. Но он должен знать, где те или иные точки тела встречаются в пространстве.

Чем ниже уровень подготовленности человека, которому адресуется модель, тем проще должен быть язык. Например, там, где нельзя требовать специальных знаний, нужно пользоваться простейшим языком. В этом случае приходится говорить даже не о фазах, а об элементарных действиях (рукой, ногой, тазом и т. п.).

Таким образом, при использовании методов педагогической кинезиологии сознательность обучения обеспечена наличием «модели» (образца) техники или тактики. Обучаемый получает возможность осмысленно приближать свою двигательную деятельность к этому стандарту.

Последовательность и постепенность обучения достигается упорядоченностью решаемых задач. Программа обучения составляется так, чтобы обучаемый осваивал правильную технику двигательных действий и тактику двигательной деятельности постепенно, шаг за шагом, осмысливая свои действия.

Доступность обучения реализуется тем, что каждая очередная порция информации осваивается на уровне уже достигнутых возможностей, которые реально оцениваются учителем и самим учеником.

И наконец, обучение становится активным благодаря самоконтролю, для чего создается система ориентиров — зрительных и кинестетических (основанных на ощущениях обучаемого).

Методы педагогической кинезиологии чрезвычайно плодотворны. Но процесс построения модели двигательного действия весьма трудоемок. На сегодняшний день такие модели созданы для ходьбы, бега, передвижения на лыжах, плавания. Некоторые из них использованы нами при описании закономерностей частной биомеханики.

В современной педагогической кинезиологии используются модели, в которых ориентирами служат только показатели кинематики (т. е. внешней картины движений). Это объясняется тем, что, по предложению Х. Х. Гросса, экспериментальные данные для моделей собираются путем регистрации техники спортсменов высшей квалификации, находящихся в наивысшей спортивной форме, на крупнейших соревнованиях. Столь высокие требования к эталонной технике исключают возможность применения других методов, кроме кино- и видеосъемки. В дальнейшем по мере совершенствования датчиков биомеханических характеристик к ним полезно добавить показатели динамики и энер-

гетики. Тогда можно было бы говорить не только об эталонных величинах суставных углов, перемещений, скорости и т. п., но и об оптимальных величинах сил действия, развиваемой энергии и экономичности.

Современный арсенал педагогической кинезиологии позволяет выразить точными словами (а в дальнейшем, возможно, и математически) всю сложность двигательной деятельности, которую талантливый тренер постигает из опыта и благодаря своей интуиции.

Заметим, что все физические упражнения, с точки зрения педагога, делятся на две группы:

1) легко усвояемые (например, упражнения комплекса ГТО);

2) те, над которыми работают годами (например, метания спортивных снарядов).

Методы педагогической кинезиологии полезны при освоении упражнений первой группы и совершенно необходимы при обучении сложным двигательным действиям.

И еще одно замечание. Объединяя смысловой образ оптимальной техники со зрительным и кинестетическим, необходимо контролировать не только правильность выполнения двигательных действий, но и знания по технике. При этом выявляются пробелы в знаниях и становится явной следующая иерархия уровней подготовленности ученика: не знаю — не делаю, знаю — не делаю, не знаю — делаю, знаю — делаю. Эти ступени, подобно лестнице, ведут к вершине технико-тактического мастерства.

ПОНЯТИЕ О СУГГЕСТИВНЫХ МЕТОДАХ ОБУЧЕНИЯ

Методы программированного обучения и педагогической кинезиологии упорядочивают процесс передачи знаний. Они активизируют познавательную деятельность ученика, дают ему возможность осваивать эффективную технику и тактику шаг за шагом и сразу правильно, без досадных «проб и ошибок». Тем самым обучение становится более целенаправленным и значительно ускоряется. Но существуют и другие, еще более интенсивные методы обучения. Это суггестивные методы.

Суггестология (от suggest — намекать, наводить на мысль) — наука о внушении. В соединении с педагогикой суггестология образует суггестопедию — новый раздел педагогики, разрабатывающий приемы ускоренного обучения (Г. Лозанов, 1970 г.). В отличие от других, суггестивные методы достигают цели в обход логики, во многом напоминают игру и потому не требуют от ученика значительных

волевых усилий. Как известно, именно так обучаются маленькие дети.

Исследованиями психологов, психиатров и нейрохирургов установлено, что человек использует лишь ничтожную часть возможностей своего мозга. Существуют колоссальные резервы, о чем говорят, например, факты «сверхзапоминания» (до 1000 иностранных слов за сеанс) особо одаренными людьми и обычными людьми в состоянии гипноза. Суггестивные методы обучения опираются на эти резервы и активизируют их.

Для того чтобы активизация резервов мозга стала возможной, необходимо преодолеть «критически-логический» антисуггестивный барьер, т. е. ситуацию, когда, привыкнув к ограниченности своих возможностей, человек из соображений здравого смысла не верит в свои сверхвозможности.

Например, известно, как трудно увеличить результат спринтеру высшей квалификации, достигшему своего «потолка». И. П. Ратов и его сотрудники добивались этого с помощью приспособления, которое они назвали облегчающей подвеской. Над беговой дорожкой электромотором со скоростью бегуна перемещался блок с ремнями, подтягивающими спортсмена кверху и тем самым снижающими силу тяжести. При этом результат в спринтерском беге, естественно, оказывался выше обычного. Это способствовало формированию навыка «сверхбыстрого» бега, придавало бегуну уверенность, и в дальнейшем он улучшал свой результат на соревнованиях.

Той же цели могут служить и другие тренажеры для физической и технико-тактической подготовки спортсменов, а также людей, занимающихся физкультурой.

Контрольные вопросы

1. Как строится учебный процесс при программированном обучении?

2. Что такое модель оптимальной техники двигательного действия и оптимальной тактики двигательной деятельности?

3. Что нового в традиционные методы технико-тактической подготовки вносит педагогическая кинезиология?

4. С помощью каких «языков» может быть описана оптимальная техника двигательных действий?

5. Как сделать обучение технике двигательных действий доступным для человека, малоподготовленного в теоретическом отношении?

6. Какую систему ориентиров вы можете предложить

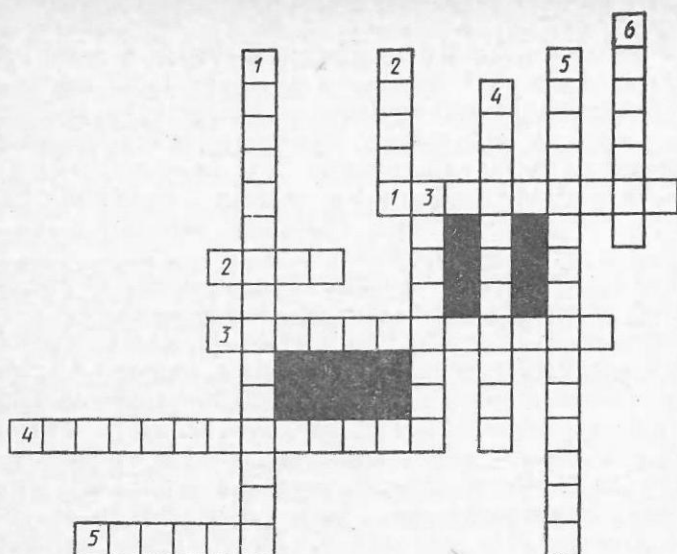


Рис. 68. Кроссворд.

По горизонтали. 1. Известный лыжный марафон, в котором регулярно участвуют создатели педагогической кинезиологии и где можно на практике ознакомиться с рациональной техникой передвижения на лыжах. 2. Интервал времени между граничными позами (временной элемент двигательного действия). 3. Методология программирования и оптимизации двигательных действий человека, использующая логический, образный и чувственный самоконтроль: педагогическая ... 4. Новый раздел педагогики, разрабатывающий методы ускоренного обучения. 5. Образец техники или тактики.

По вертикали. 1. Один из основополагающих принципов дидактики. 2. Небольшая порция изучаемого материала. 3. Медико-биологическая учебная дисциплина, знание которой необходимо для успешного освоения биомеханики. 4. Один из основополагающих принципов, лежащих в основе биомеханического обоснования и оптимизации двигательной деятельности. 5. Ориентиры, используемые при обучении двигательным действиям и основанные на ощущениях. 6. Союзная республика, где разработаны основы педагогической кинезиологии

для обучения в вашем любимом виде спорта?

7. Что такое суггестология и суггестопедия и какие перспективы они открывают перед спортивной педагогикой?

8. В чем коренное отличие суггестивных методов обучения от традиционных?

9. Приведите примеры реализации в практике физического воспитания и спорта методов программированного обучения, педагогической кинезиологии и суггестологии.

10. Решите кроссворд (рис. 68).

Часть вторая

ЧАСТНАЯ БИОМЕХАНИКА

Этот раздел посвящен биомеханическим закономерностям ходьбы, бега, плавания и других циклических локомоций, бросков, ударов и других переместительных действий, а также общеразвивающих гимнастических упражнений. Рассматриваются: кинематика (длина шага и темп, позы и фазовый состав), топография работающих мышц, динамика (источники сил и их согласование), биоэнергетика и оптимальные режимы двигательной деятельности.

ГЛАВА 7. БИОМЕХАНИКА ХОДЬБЫ И БЕГА

Ходьба оживляет и воодушевляет мои мысли. Оставаясь в покое, я почти не могу думать. Необходимо, чтобы мое тело находилось в движении, тогда ум тоже начинает двигаться.

Жан-Жак Руссо

Ходить и бегать для здоровья!

Ходьба и бег относятся к самым древним способам передвижения.

За 70 лет жизни человек совершает в среднем 500 миллионов шагов и преодолевает путь, приблизительно равный расстоянию от Земли до Луны (384 тыс. км.).

Мы привыкли, что идти пешком — это значит идти медленно. Но в наш век больших скоростей и ходьба стала стремительной. Победитель Кубка мира в спортивной ходьбе в 1983 г. прошел 20 км со средней скоростью 15,9 км/ч.

Результаты в беге также не стоят на месте. Мужчины в 100-метровом спринте перешагнули десятисекундный барьер, а женщины освоили марафон.

Будучи «фундаментальными человеческими движениями», ходьба и бег интересны сами по себе. Но, кроме того, ввиду своей общедоступности они используются для изучения общих закономерностей циклических локомоций.

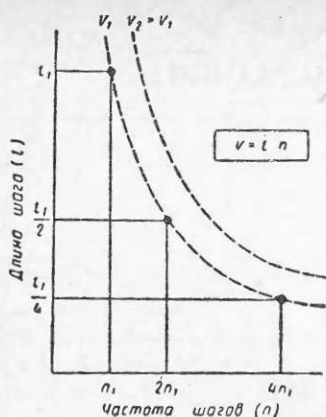


Рис. 69. Скорость как произведение длины и частоты шагов; *пунктир* — изоспида (все точки изоспиды соответствуют одной и той же скорости)

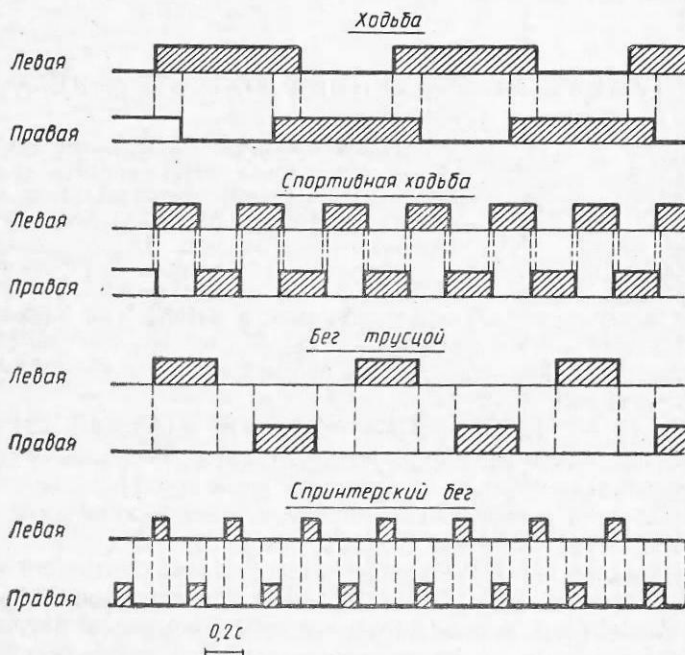


Рис. 70. Простейшие хронограммы обычной ходьбы, спортивной ходьбы, бега трусцой и спринтерского бега; периоды опоры заштрихованы; *вверху* — левая нога, *внизу* — правая (по В. Е. Панфилову, Nigg, Denoth, М. А. Каймин, В. В. Тюпе)

КИНЕМАТИКА ХОДЬБЫ И БЕГА. ТОПОГРАФИЯ РАБОТАЮЩИХ МЫШЦ

Как и во всех циклических локомоциях, при ходьбе и беге скорость передвижения прямо пропорциональна длине шага и темпу (рис. 69):

$$v = \frac{ln}{60},$$

где v — скорость передвижения (м/с); l — длина шага (м); n — частота шагов (1/мин). Чтобы определить темп ходьбы или бега, обычно регистрируют число шагов в минуту, или частоту шагов¹.

Одна и та же скорость может быть достигнута при разных сочетаниях длины и частоты шагов. Кривая, все точки которой соответствуют одной и той же скорости, называется изоспидой. На рис. 69 изображены две изоспиды. Видно, что увеличить скорость можно тремя способами: повысив длину шага, подняв темп и увеличив одновременно и длину, и частоту шагов.

Для того чтобы понять, как человек ходит или бежит, прежде всего нужно изучить фазовый состав этих локомоций. На рис. 70 представлены простейшие хронограммы ходьбы и бега. Из них видно, что по мере увеличения скорости передвижения:

при ходьбе сокращается период двойной опоры (когда обе ноги находятся на земле) вплоть до почти полного его исчезновения при спортивной ходьбе;

при беге увеличивается отношение длительности периода полета (когда обе ноги не касаются опоры) к длительности периода опоры.

Вопросы для самоконтроля знаний

- 1) Как можно отличить ходьбу от бега?
- 2) Почему на соревнованиях по спортивной ходьбе спортсмена снимают с дистанции, если в хронограмме его действий появляется период полета?

Сведения о скорости, темпе, длине шага, длительности опоры, переноса ноги и полета необходимы для совершенствования тактики ходьбы и бега и дают самое общее представление о технике. Но их недостаточно, чтобы ответить на два очень важных вопроса:

¹ Так же поступают и в конькобежном спорте. Но в плавании, гребле и велоспорте определяют темп как число циклов в минуту, а длиной шага считают расстояние, преодолеваемое за один цикл. В велоспорте это расстояние называется укладкой.

1) Как организовано двигательное действие?

2) Как им овладеть?

Для ответа на эти вопросы прежде всего нужны более подробные хронограммы.

На рис. 71 показано, что каждый полуцикл обычной ходьбы состоит из пяти фаз (римские цифры). Фазы отделены друг от друга пятью граничными позами (арабские цифры). Шагающий человек на рисунке изображен в граничных позах. Назовем эти позы и фазы между ними для одного полуцикла:

1 — отрыв стопы правой ноги от опоры;

I — подседание на левой (опорной) ноге, ее сгибание в коленном суставе;

2 — начало разгибания левой ноги;

II — выпрямление левой ноги, ее разгибание в коленном суставе;

3 — момент, когда правая нога в процессе переноса начала опережать левую;

III — вынос правой ноги с опорой на всю стопу левой ноги;

4 — отрыв пятки левой ноги от опоры;

IV — вынос правой ноги с опорой на носок левой ноги;

5 — постановка правой ноги на опору;

V — двойная опора, переход опоры с левой ноги на правую.

Во втором полуцикле фазы и граничные позы те же, только в их названиях правую ногу нужно заменить левой, а левую — правой.

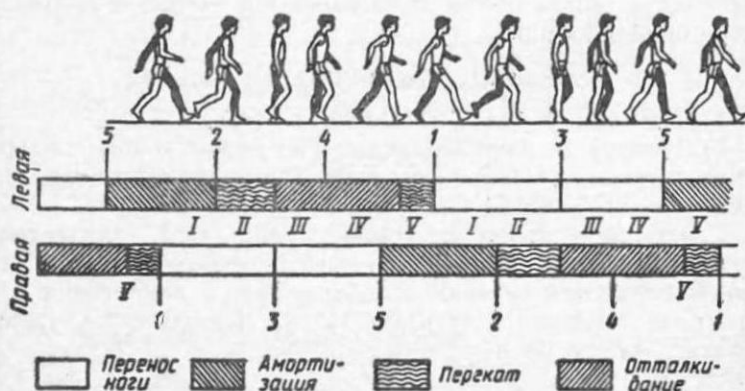


Рис. 71. Фазы ходьбы, граничные позы и элементарные действия (по Д. Д. Донскому, переработано)

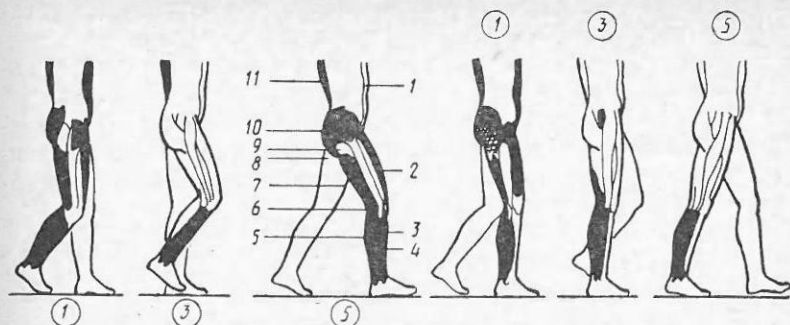


Рис. 72. Мышцы туловища и ног, на которые приходится основная нагрузка при ходьбе (по В. С. Гурфинкелю):

1 — прямая м. живота; 2 — четырехглавая м. бедра; 3 — передняя большеберцовая м.; 4 — длинная малоберцовая м.; 5 — трехглавая м. голени; 6 — полусухозильная м.; 7 — двуглавая м. бедра; 8 — большая ягодичная м.; 9 — напругатель широкой фасции; 10 — средняя ягодичная м.; 11 — м., выпрямляющая позвоночник; цифры в кружках — номера граничных поз в соответствии с рис. 71

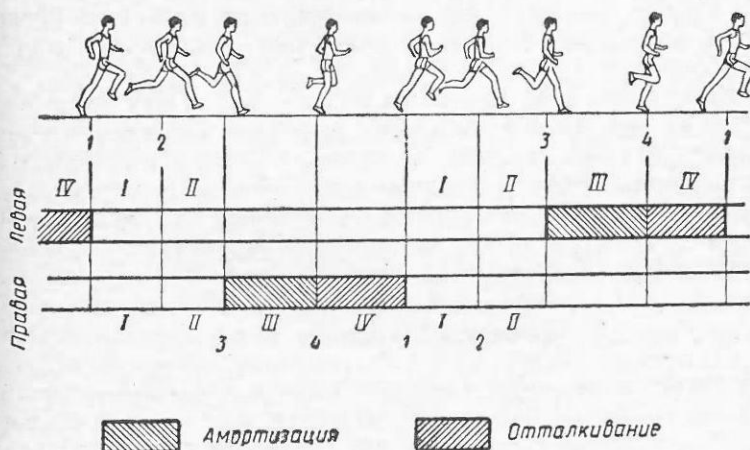


Рис. 73. Фазы и граничные позы бега (по Д. Д. Донскому, переработано)

Когда говорят о фазовом составе двигательного действия, имеют в виду движения всего тела (в данном случае обеих ног). Но для понимания механизмов ходьбы нужно знать, какие элементарные действия выполняются каждой ногой. По времени они не всегда совпадают с фазами ходьбы (см. рис. 71). В периоде опоры выполняются: амортизация, перекат с пятки на всю ступню, отталкивание и перекат со всей ступни на носок. В периоде переноса нога

сначала сгибается, а затем разгибается в коленном суставе. Из элементарных действий формируются фазы.

Топография мышц, работающих при ходьбе, показана на рис. 72.

Фазовый состав бега показан на рис. 73. Каждая половина цикла состоит из четырех фаз (римские цифры), отделенных друг от друга граничными позами (арабские цифры). В том числе:

I — отрыв левой стопы от опоры;

II — разведение стоп;

III — начало выноса левой ноги вперед;

IV — сведение стоп с выносом левой ноги вперед;

V — постановка правой стопы на опору;

VI — амортизация, или подседание со сгибанием правой (опорной) ноги;

VII — начало разгибания правой ноги;

VIII — отталкивание с выпрямлением правой ноги до отрыва от опоры.

Вторая половина цикла симметрична первой. В названиях фаз и граничных поз правая нога заменяется левой и наоборот.

Топография работающих мышц у бегуна ясна из рис. 41. Из сравнения рис. 41 и 72 видно, что нагрузка при беге ложится в основном на те же мышцы, что и при ходьбе. Однако неодинакова межмышечная координация (последовательность включения и выключения мышц). И кроме того, степень напряжения мышц при беге существенно больше.

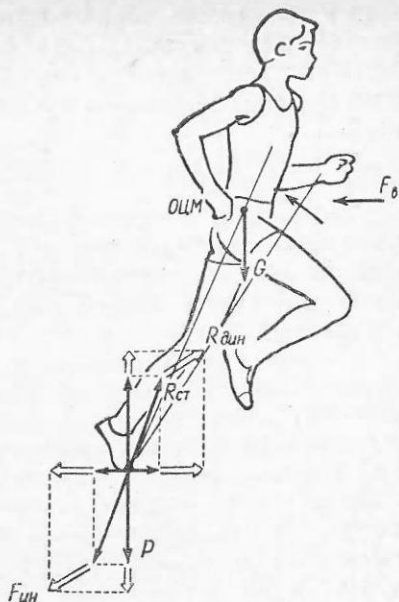
ДИНАМИКА ХОДЬБЫ И БЕГА

Человек является самодвижущейся системой, поскольку первопричиной его движений служат внутренние силы, создаваемые мышцами и приложенные к подвижным звеньям тела. К внутренним относятся и силы инерции, приложенные к центрам масс разгоняемых и тормозимых звеньев тела («фиктивные» силы инерции) или к другим звеньям тела либо к внешним предметам («реальные» силы инерции) (рис. 74).

Сила инерции ($F_{ин}$) равна произведению массы всего тела или отдельного звена на его ускорение и направлена в сторону, противоположную ускорению. Поэтому сила инерции замедляет и разгон, и торможение.

Наряду с внутренними на человека действуют внешние силы. При ходьбе и беге к ним относятся: сила тя-

Рис. 74. Силы, действующие на человека во время ходьбы и бега: G — сила тяжести, $F_{ин}$ — сила инерции, P — вес тела, $R_{ст}$ и $R_{дин}$ — статический и динамический компоненты реакции опоры, F_v — сила сопротивления воздуха; обратите внимание: 1) F — сила действия ноги на опору (как и сила реакции опоры) содержит две составляющие: вертикальную и горизонтальную; 2) если линия действия опорной реакции не проходит через общий центр масс тела, то возникает опрокидывающий момент (показано круговой стрелкой)



жести, сила реакции опоры, сила сопротивления воздуха (см. рис. 74).

Сила тяжести (гравитационная сила) приложена к центру масс и равна произведению массы тела на ускорение земного тяготения: $G = mg$ ($g = 9,8 \frac{м}{с^2}$). Например, при массе тела 50 кг сила тяжести близка к 500 Н.

Сила лобового сопротивления воздуха приложена к центру поверхности тела. Она увеличивается пропорционально квадрату скорости. Например, при скорости 9 м/с сила лобового сопротивления воздуха в 4 раза больше, чем при скорости 4,5 м/с, и в 9 раз больше, чем при скорости 3 м/с. Расчеты показывают, что при скорости бега 8 м/с ее величина достигает 20 Н.

Сила реакции опоры не является движущей силой. Но ее измеряют и изображают графически (см. рис. 74), для того чтобы определить результат совместного действия всех сил (и внутренних, и внешних). Как же формируется опорная реакция?

Отталкиваясь от опоры, человек воздействует на нее с силой отталкивания, которая состоит из двух компонентов: статического — веса (постоянного и равного силе тяжести) и динамического компонента. Динамический компонент мо-

жет иметь место только при движениях, выполняемых с ускорением, когда все тело или отдельные звенья разгоняются или тормозятся. Наиболее отчетливо это видно на динамограммах подтягивания, приседания и т. п. (см. в главе 12).

Задание для самоконтроля знаний

Объясните, почему у вертикально стоящего человека вес равен силе тяжести, а у человека в позе, изображенной на рис. 74, вертикальная составляющая веса меньше силы тяжести и, кроме того, появляется горизонтальная составляющая веса.

Динамограммы ходьбы и бега имеют более сложную форму (рис. 75), чем, например, динамограмма приседания. Это объясняется тем, что динамический компонент силы действия ноги на опору зависит от разнонаправленных сил инерции многих сегментов тела. Каждая из них приложена к центру масс ускоряемого или тормозимого сегмента, но передается через опорную ногу на опору. Эти силы инерции возникают при движениях, сопровождающих ходьбу и бег, в том числе:

1) при маховых движениях; например, при отталкивании правой ногой маховое движение левой ноги увеличивает силу действия правой ноги на опору. Впечатляют следующие цифры: при спринтерском беге вклад маховых движений обеих рук в опорную реакцию достигает 20%, а вклад маховой ноги к середине периода опоры — 50%;

2) при сгибании или разгибании опорной ноги; например, в начале фазы амортизации сгибание опорной ноги бегуна приводит к возникновению силы инерции, уменьшающей силу действия на опору.

В конечном итоге силы действия ног на опору отображают всю совокупность внутренних и внешних сил, действующих на тело человека. То же можно сказать и о силе реакции опоры, которая равна по величине силе действия на опору, но противоположно направлена. Как видно из рис. 74, сила действия на опору (а также и реакция опоры) имеет две составляющие: вертикальную и горизонтальную. Их величины изменяются во времени, о чем судят по динамограмме ходьбы или бега (рис. 75).

Горизонтальная составляющая динамограммы бега и ходьбы состоит из двух полувольт: отрицательной и положительной. Отрицательная полуволна соответствует начальной фазе периода опоры, когда происходит неизбежное торможение. Ее следует по возможности уменьшать,

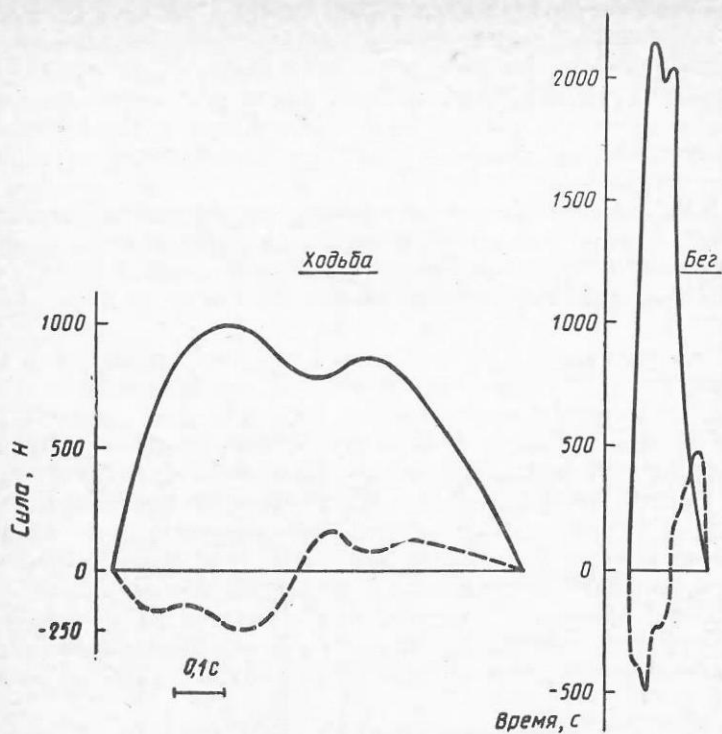


Рис. 75. Вертикальная (сплошная линия) и горизонтальная (пунктир) составляющие силы действия на опору в обычной ходьбе и спринтерском беге (по М. А. Каймин, В. В. Тюпе)

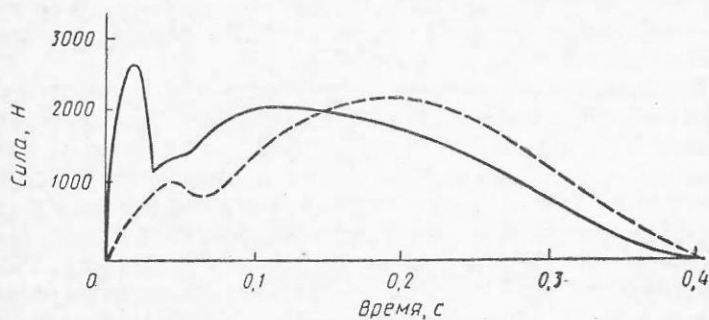


Рис. 76. Динамограмма бега трусцой по жесткому (сплошная линия) и мягкому (пунктир) покрытию (по Nigg, Denoth)

для чего непосредственно перед постановкой ноги на опору надо делать активное «загребающее» движение. В результате раньше начинается вторая, положительная полуволна динамограммы, показывающая, как изменяется во времени сила, продвигающая тело бегуна или ходака вперед. Ее величина у высококвалифицированных бегунов достигает 500—600 Н.

Значительно больше амплитуда вертикальной составляющей динамограммы. При беге она достигает у мастеров спорта 2800 Н, а у новичков 1300 Н. При ходьбе амплитуда вертикальной составляющей в среднем достигает 1000 Н.

На величину силы действия на опору влияют свойства дорожки и материал, из которого изготовлена обувь. Разница в величине вертикальной составляющей опорной реакции при ходьбе в обуви с жесткой кожаной подошвой и подошвой из микропористой резины достигает 350 Н.

Мягкое покрытие дорожки и обувь с амортизаторами делают технику ходьбы и бега более соответствующей критерию комфортабельности (рис. 76). Тем самым уменьшается давление на суставы и межпозвоночные диски. Эти перегрузки вреднее, чем принято думать. И не случайно те, кто бегают трусцой по асфальту и в жесткой обуви, часто жалуются на боли в пояснице и суставах.

ЭНЕРГЕТИКА ХОДЬБЫ И БЕГА

При ходьбе и беге механическая энергия определяется скоростями движения тела и его звеньев и их расположением, т. е. кинетической и потенциальной энергией. При ходьбе и беге человек затрачивает энергию не только на горизонтальные, но и на вертикальные и поперечные перемещения общего центра масс.

В зависимости от фазы цикла величина кинетической и потенциальной энергии тела изменяется. Характер этих изменений в ходьбе и беге принципиально различен. Кинетическая и потенциальная энергия в ходьбе изменяется в противофазе; например, в момент постановки ноги на опору максимум кинетической энергии совпадает с минимумом потенциальной, а в беге — синфазно (например, в высшей точке полета максимум кинетической энергии совпадает с максимумом потенциальной). Следовательно, при ходьбе происходит рекуперация энергии, т. е. ее сохранение путем перехода кинетической энергии в потенциальную энергию гравитации и обратно, а при беге этот

вид рекуперации практически отсутствует. Зато при беге значительно более выражен другой вид рекуперации, когда кинетическая энергия переходит в потенциальную энергию сокращающихся мышц, действующих подобно пружине.

Энергозатраты на 1 м пути при ходьбе меньше, чем при беге, но только при низких скоростях передвижения. При высоких скоростях бег, наоборот, экономичнее ходьбы (см. рис. 53). Зона, где более выгоден бег, отделена от зоны, где более выгодна ходьба, граничной скоростью. Граничная скорость определяется числом Фруда (Φ), которое вычисляется по формуле

$$\Phi = \frac{v^2}{gL_0},$$

где g — ускорение земного тяготения (м/с^2); v — скорость передвижения человека (м/с); L_0 — высота общего центра масс тела в основной стойке (м).

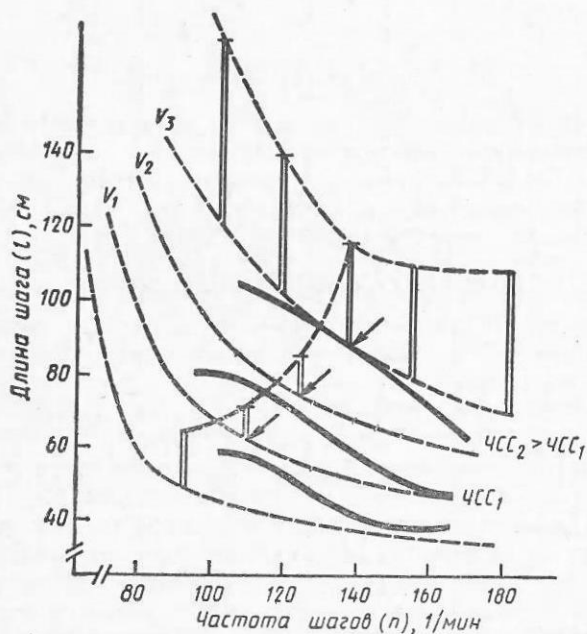


Рис. 77. Энергетическая стоимость метра пути при различных сочетаниях длины и частоты шагов: пунктир — изоспиды; сплошные линии — линии одинаковых величин частоты пульса; стрелками указаны оптимальные по экономичности сочетания длины и частоты шагов

Если число Фруда меньше единицы ($\Phi < 1$), то выгоднее ходьба, а при $\Phi > 1$ выгоднее бег. Граничная скорость соответствует условию $\Phi = 1$ и, следовательно, может быть рассчитана по формуле

$$v_p = \sqrt{gL_0} \approx 3\sqrt{L_0} \text{ (м/с)} \approx 10\sqrt{L_0} \text{ км/ч.}$$

Энергетические затраты зависят от многих факторов, в том числе от сочетания длины и частоты шагов. При слишком коротких или чересчур длинных шагах (что соответствует недостаточной или чрезмерной силе отталкивания) энергозатраты на 1 м пути выше, чем при оптимальном сочетании длины и частоты шагов (рис. 77). Например, отклонение длины шага от оптимальной величины на 6% при беге со скоростью 4 м/с увеличивает энергетические затраты, приходящиеся на метр пути в среднем на 1 Дж.

Вопрос для самоконтроля знаний

Какой вид передвижения (бег или ходьба) более экономичен и почему?

ОПТИМИЗАЦИЯ ХОДЬБЫ И БЕГА

Для оптимизации ходьбы и бега прежде всего необходимо минимизировать непроизводительные энергозатраты. Это важно и в том случае, когда критерием оптимальности служит экономичность и когда основной целью является повышение соревновательного результата.

Вопрос для самоконтроля знаний

Какой критерий оптимальности является основным, когда спортсмен стремится максимизировать среднестанционную скорость?

В процессе оптимизации ходьбы и бега решаются следующие задачи:

1) Выбор оптимальной скорости, длины шага и темпа.

Наиболее экономичные величины скорости, длины шага и темпа изменяются с возрастом (рис. 78). Из рисунка видно, что у детей и пожилых людей уровни оптимальных показателей ниже (за исключением темпа у детей), чем у здоровых людей в возрасте расцвета двигательных возможностей. На их величину оказывает влияние ряд факторов: состояние здоровья, спортивная квалификация, степень тренированности, утомление, качество обуви и т. д.

2) Снижение вертикальных и поперечных колебаний

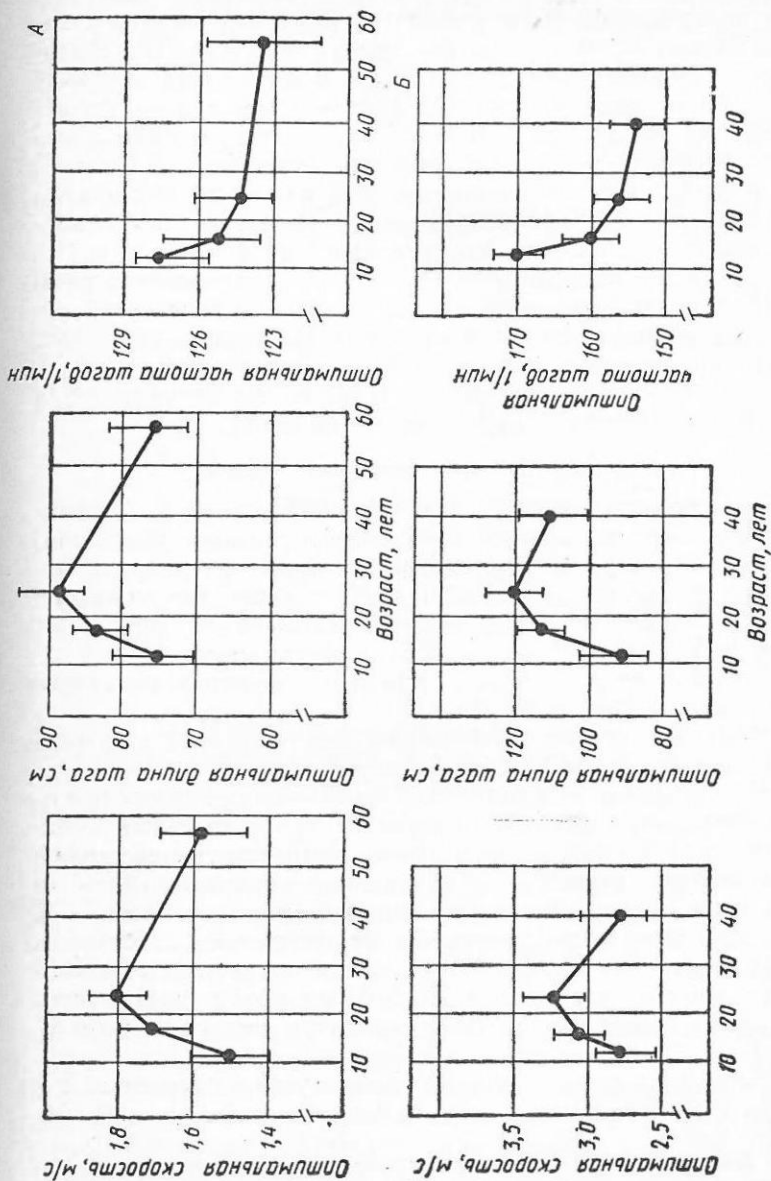


Рис. 78. Возрастные изменения оптимальной по экономичности скорости и оптимального сочетания длины и частоты шагов при ходьбе (А) и беге (Б); вертикальными отрезками показаны доверительные интервалы, в пределах которых попадает 95% всех случаев

В ходьбе и беге полезной работой является только горизонтальная внешняя работа. Вертикальные и поперечные перемещения тела относятся к непроизводительным движениям. Однако ошибочно думать, что, устранив вертикальные перемещения тела совсем, можно сделать ходьбу и бег более экономичными. Наоборот, при полном отсутствии вертикальных колебаний их энергетическая стоимость возрастает, так как движения становятся скованными и теряется та часть энергии, которая при естественной технике движений рекуперирована. Существует оптимальная величина размаха вертикальных колебаний о. ц. м., при которой энергозатраты при ходьбе и беге минимальны.

Для устранения непроизводительных перемещений тела целесообразно использовать повороты таза (рис. 79). Благодаря поворотам таза не только уменьшаются вертикальные и боковые колебания тела, но также удлиняется шаг и ускоряется постановка стопы на опору.

Задание для самоконтроля знаний

Пройдите по комнате своей обычной походкой. А затем измените походку следующим образом: активно выполняйте подгребающее и отталкивающее движения опорной ногой и в то же время поворачивайте таз так, как показано на рис. 79. Вы заметите, что стук каблука об опору стал значительно меньше — походка сделалась мягче.

Почему так получилось? Как это отразилось на скорости и экономичности ходьбы?

Наряду с оптимальной скоростью, о которой уже рассказывалось, имеет важное значение зона экономичных режимов передвижения (рис. 80). **Зоной экономических режимов называется диапазон скоростей от оптимальной (наиболее экономичной) до пороговой, соответствующей уровню анаэробного порога¹.** Уменьшение скорости бега и ходьбы по сравнению с оптимальной нерационально, так как приводит к возрастанию энергетической стоимости метра пути. Бег со скоростью выше пороговой вызывает накопление в организме молочной кислоты и других продуктов метаболизма, а это приводит к сильному утомлению.

Передвижение с наиболее экономичной скоростью используется в качестве поддерживающей физической на-

¹ Анаэробный порог — это интенсивность физической нагрузки, начиная с которой из-за значительного усиления анаэробного метаболизма происходит накопление лактата в крови. Подробное объяснение этого феномена в курсе биохимии.

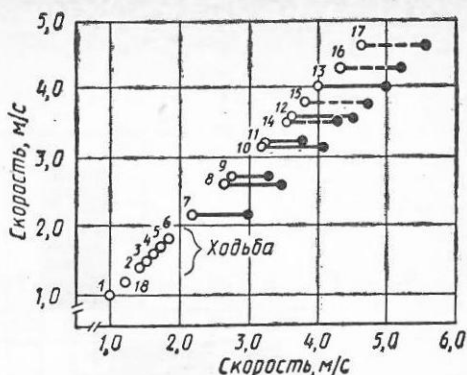
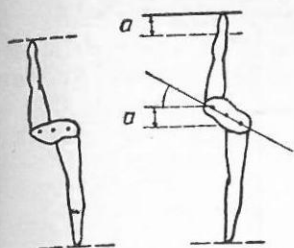


Рис. 79. Движения таза при ходьбе: а — увеличение длины шага за счет поворота таза (по Д. А. Семенову, цит. по Д. Д. Донскому, 1960 г.)

Рис. 80. Границы зоны экономических режимов при ходьбе, беге и передвижении на лыжах (пунктир):

о — оптимальная (наиболее экономичная) скорость; ● — анаэробный порог: 1 — мальчики 5—7 лет; 2 — мальчики 11—12 лет; 3 — мужчины 55—65 лет; 4 — юноши 15—17 лет; 5 — женщины 20—22 лет; 6 — мужчины 20—25 лет; 7 — мальчики 5—7 лет; 8 — женщины 20—22 лет; 9 — мальчики 11—12 лет; 10 — нетренированные мужчины 20—22 лет; 11 — тренированные девушки 15—16 лет; 12 — тренированные юноши 15—16 лет; 13 — тренированные мужчины 21—24 лет; 14 — тренированные девушки 15—17 лет; 15 — тренированные юноши 15—17 лет; 16 — тренированные мужчины 18—26 лет; 17 — высокотренированные мужчины 19—24 лет; 18 — мужчины 45—60 лет после инфаркта миокарда

грузки, для больных и ослабленных такая нагрузка является развивающей. Пороговая интенсивность бега в спорте считается оптимальной при формировании основ выносливости.

Контрольные вопросы

1. Каковы различия в кинематике ходьбы и бега?
2. Каков механизм отталкивания при ходьбе и беге? Какова при этом роль маховых движений?
3. Какие внешние силы действуют на человека во время ходьбы и бега?
4. Что влияет на величину силы лобового сопротивления воздуха и как она зависит от скорости передвижения?
5. Каков характер изменения кинетической и потенциальной энергии при ходьбе и беге?
6. Какие разновидности рекуперации энергии имеют место при ходьбе и беге?
7. Что такое оптимальная скорость и оптимальное сочетание длины и частоты шагов?

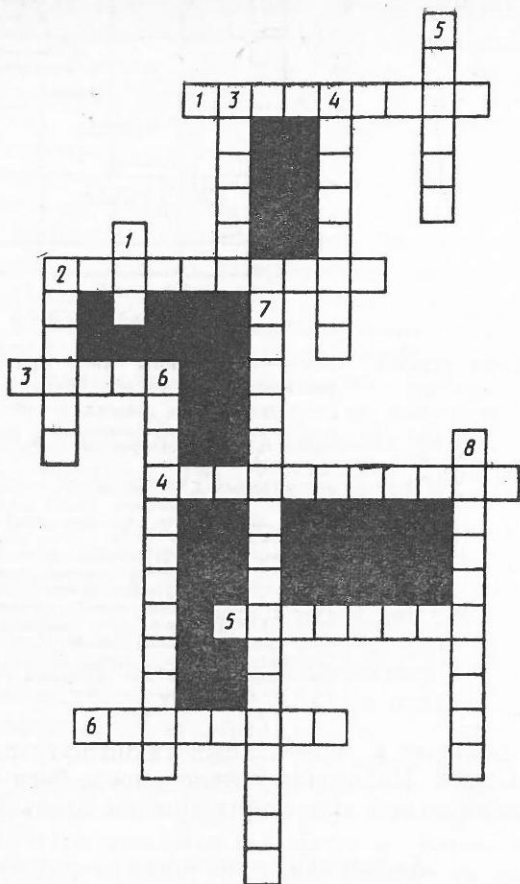


Рис. 81. Кроссворд.

По горизонтали. 1. Наибольшее отклонение, размах. 2. Универсальное взаимодействие материальных тел. 3. Сегмент конечности человека. 4. Наименование фазы в цикле бега. 5. Раздел физики, сведения из которого используются в биомеханике. 6. Акт, осуществляемый благодаря сокращению мышц.

По вертикали. 1. Половина цикла ходьбы. 2. Звено ноги. 3. Общая часть названия трех биомеханических характеристик. 4. Линия, все точки которой соответствуют одной и той же скорости. 5. Вид циклических локомоций. 6. Двигательное действие при беге, в результате которого период опоры сменяется периодом полета. 7. Один из критериев оптимальности техники ходьбы и бега. 8. Раздел биомеханики, изучающий внешнюю картину движений.

8. Что такое зона экономичных режимов? Как ее определить и как использовать эти сведения при программировании двигательных режимов?

9. Каковы величины оптимальной скорости ходьбы у людей разного возраста?

10. Разгадайте кроссворд (рис. 81).

ГЛАВА 8. БИОМЕХАНИКА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ НА ЛЫЖАХ И ВЕЛОСИПЕДЕ

Предок человека стал человеком тогда, когда он вооружился орудием труда. Палка, камень, копье, лук со стрелой — все это удлиняло руку человека... и, смастерив вначале примитивные, а затем все более совершенные средства передвижения, человек «достроил» свои ноги... и начал расширять среду обитания.

И. М. Фейгенберг

Быстрее ветра!

Стремясь повысить скорость передвижения, «достраивая свои ноги», человек издавна использовал различные технические приспособления. Наиболее популярные и доступные из них — велосипед и лыжи.

БИОМЕХАНИКА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ НА ЛЫЖАХ

Первые лыжи были «снегоступами», они позволяли сравнительно легко передвигаться по рыхлому глубокому снегу, где пройти пешком очень трудно. На таких лыжах не скользили, а ходили по снегу.

Много позднее появились лыжи, близкие к современному типу, — длинные и узкие. Сначала даже слишком длинные, так как полагали, что удлинение лыжи увеличивает скорость бега. В столице Норвегии, г. Осло, в лыжном музее выставлены лыжи длиной 3 м 76 см.

Современные лыжные гонки — это спорт выносливых, сильных, быстрых и смелых, где длина дистанции бывает 50 км и более, а скорость (на спусках) — до 60 км/ч.

Кинематика лыжных ходов

Используются различные способы передвижения (лыжные ходы), выбор которых зависит от рельефа местности,

**Кинематическое описание попеременного двухшажного хода
(по Х. Х. Гроссу, 1980 г.)**

Периоды шага	Период скольжения лыжи			Период стояния лыжи	
Основная цель	Сократить потерю скорости			Увеличить скорость	
Задачи	Продолжать продвижение до начала отталкивания			Продвигаться за счет отталкивания от опоры	
Фазы шага	Свободное скольжение	Скольжение с выпрямлением опорной ноги	Скольжение с подседанием	Выпад с подседанием	Отталкивание с выпрямлением толчковой ноги
Граничные моменты (начало фазы)	Отрыв лыжи от снега	Постановка палки на снег	Сгибание опорной ноги в коленном суставе	Остановка скользящей лыжи	Начало выпрямления опорной (толчковой) ноги в коленном суставе
Цель фазы	Меньше терять скорость и подготовиться к отталкиванию палкой	Увеличить скорость скользящей лыжи	Ускорить пережат	Ускорить выпад вперед	Ускорить активный взлет

Периоды шага	Период скольжения лыжи			Период стояния лыжи	
Задачи фаз	1. Уменьшить трение лыжи по снегу 2. Не затягивать время скольжения 3. Дать отдых мышцам 4. Предупредить потери энергии к моменту постановки палки	1. Использовать при отталкивании палкой мощные мышцы туловища 2. Обеспечить жесткую передачу усилий с палки на скользящую лыжу 3. Подготовить поддевание на опорной ноге	1. Использовать вес и силы инерции тела для ускорения подседания 2. Обеспечить возможно большую скорость маха ногой и рукой 3. Быстрее остановить лыжу	1. Обеспечить максимальную скорость выпада 2. Завершить подседание для эффективного отталкивания ногой	1. Обеспечить высокую скользящую лыжи маховой ноги к концу выпада 2. Направить движение отталкивания „на взлет“ 3. Завершить отталкивание палкой и лыжей

условий скольжения, уровня подготовленности лыжника. Двигательные действия лыжника носят циклический характер. Цикл делится на временные интервалы — периоды, состоящие из отдельных фаз. Границей между соседними фазами считается момент, когда лыжник находится в строго определенном положении (граничной позе) и начинается выполнение задачи следующей фазы.

Лыжные ходы разделяют по способу отталкивания палками на попеременные и одновременные. По числу шагов в одном цикле выделяют двухшажный, четырехшажный и бесшажный ходы.

Попеременный двухшажный ход применяется на равнинных участках и отлогих склонах (до 2°), а при очень хорошем скольжении — и на подъемах средней крутизны (до 5°). Из таблицы 12 и рис. 82 ясен фазовый состав попеременного двухшажного хода и цели, к которым лыжник должен стремиться в каждой фазе.

Одновременный одношажный ход применяется на равнинных участках, на отлогих подъемах при хорошем скольжении, а также на уклонах при удовлетвори-

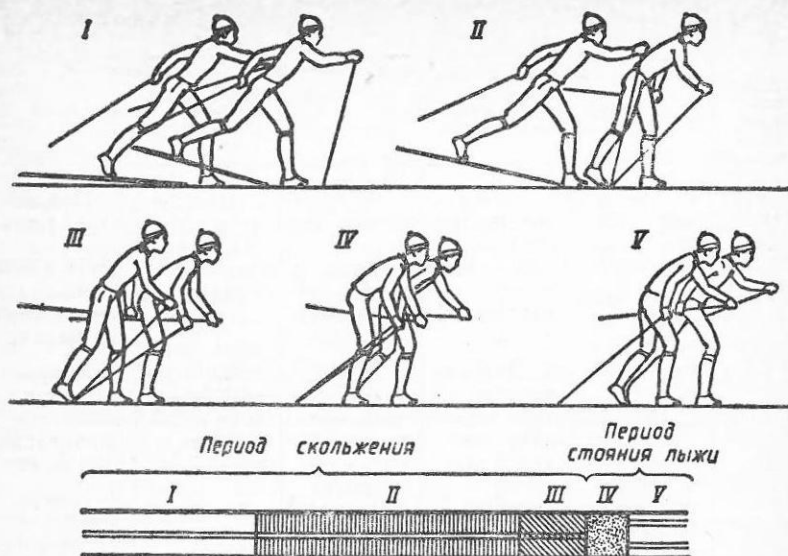


Рис. 82. Фазовый состав и граничные позы при передвижении попеременным двухшажным ходом (по Х. Х. Гроссу, Д. Д. Донскому)

тельном скольжении. В каждом цикле лыжник делает одно отталкивание одновременно двумя палками и одно отталкивание лыжей. В цикле хода выделяют шесть фаз (табл. 13).

Неодновременное выполнение отталкивания ногами и руками обуславливает меньшие перепады внутрицикловой скорости. Отталкивание палками обеспечивает ускорение общего центра масс тела во второй фазе и превышение скорости над среднестанционной в последующей фазе.

В этом способе большее перемещение за цикл (около 7 м) сочетается с невысокой частотой шагов (около 0,75 1/с).

Одновременный двухшажный ход — это такой способ, когда одно отталкивание палками приходится на два отталкивания лыжами — левой и правой. Он экономичнее всех других лыжных ходов (кроме попеременного четырехшажного), но не обеспечивает высокой скорости, поэтому высококвалифицированные лыжники им не пользуются.

Одновременный бесшажный ход применяется на равнинных участках и пологих спусках при обычном

Фазовый состав одновременного одношажного хода
(по В. Н. Манжосову, В. П. Маркину, 1980 г.)

Фаза	Название фазы	Граничные моменты (начало фазы)
I	Свободное скольжение	Отрыв лыжи от снега
II	Скольжение с отталкиванием двумя палками	Постановка палок на снег
IIIA	Скольжение с выносом палок	Окончание отталкивания палками
III	Скольжение с подседанием	Выпрямление опорной ноги в коленном суставе
IV	Выпад с подседанием	Остановка лыжи
V	Отталкивание с выпрямлением опорной ноги	Начало разгибания опорной ноги в коленном суставе

и хорошем скольжении. Лыжник скользит на двух лыжах, не делая шагов и отталкиваясь одновременно обеими палками (рис. 83). Этот ход используется при скорости не более 7,5—8,0 м/с, так как при более высокой скорости лыжник не успевает отталкиваться палками.

Полный цикл одновременного бесшажного хода состоит из одновременного отталкивания двумя руками и последующего двухопорного скольжения на лыжах (см. рис. 83).

Попеременный четырехшажный ход в соревнованиях уже не используют из-за низкой скорости передвижения, но он успешно применяется в туристических походах, когда глубокий снег не позволяет активно отталкиваться палками. Цикл этого хода состоит из четырех скользящих шагов. На первые два шага лыжник поочередно выносит палки вперед, на третий и четвертый шаги делает два попеременных отталкивания палками.

Коньковые способы передвижения широко используются с 1981 г., когда финский лыжник Сиитонен, которому тогда было уже за 40, впервые применил его в соревнованиях (в гонке на 55 км) и выиграл. Лыжи оригинальной конструкции (пластиковые, с металлическими

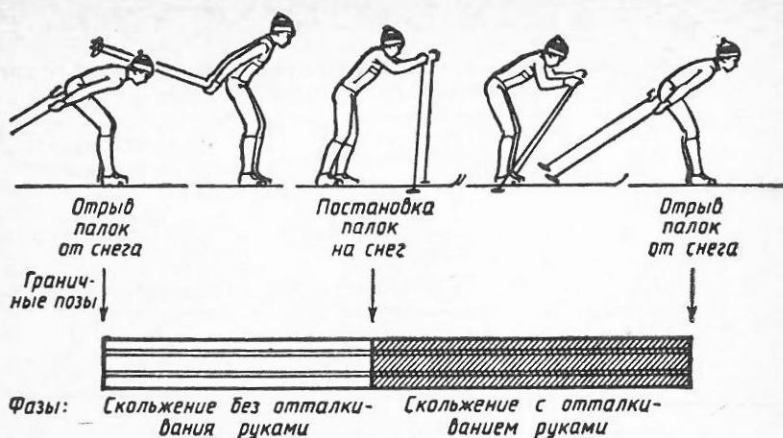


Рис. 83. Хронограмма и фазовый состав одновременного бесшажного хода (по М. А. Аграновскому с соавт.)

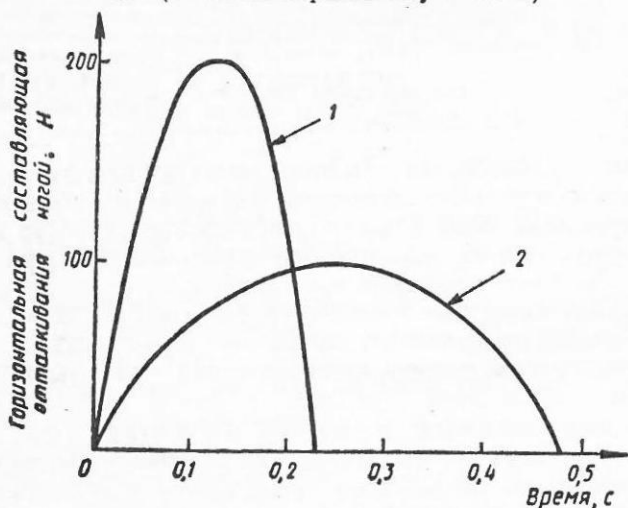


Рис. 84. Горизонтальная составляющая силы действия при отталкивании ног в разных ходах:

1 — попеременный двухшажный ход; 2 — полуконьковый ход (по В. Н. Манжосову)

вставками и т. п.) и современные способы подготовки трассы позволяют реализовать преимущества этого хода в скорости, а при равной с классическими ходами скорости — в экономичности. В коньковых способах отталкивание осуществляется скользящей лыжей. При этом практически не

играет роли коэффициент сцепления лыжи со снегом. Сила отталкивания уменьшена, а время отталкивания увеличено (около 50% от длительности шага). В результате увеличивается импульс силы, от которой зависит эффективность отталкивания ногой (рис. 84).

К числу наиболее распространенных вариантов конькового хода относятся: одновременный полуконьковый ход (на одно отталкивание руками приходится одно отталкивание ногой), коньковый одновременный двухшажный ход (в цикл хода включаются одновременное отталкивание палками и два шага), коньковый одновременный одношажный ход (одновременное отталкивание обеими руками на каждое отталкивание ногой), коньковый попеременный ход (на каждое отталкивание рукой следует отталкивание одноименной ногой). Схематическое изображение перечисленных способов передвижения представлено на рис. 85. При хороших условиях скольжения на равнине при передвижении одновременным полуконьковым ходом длина шага у мужчин составляет 6,5—7,5 м, а у женщин — 5,5—6,7 м. В коньковом одновременном двухшажном ходе длина шага несколько больше — у мужчин 7—8 м. На подъемах кру-

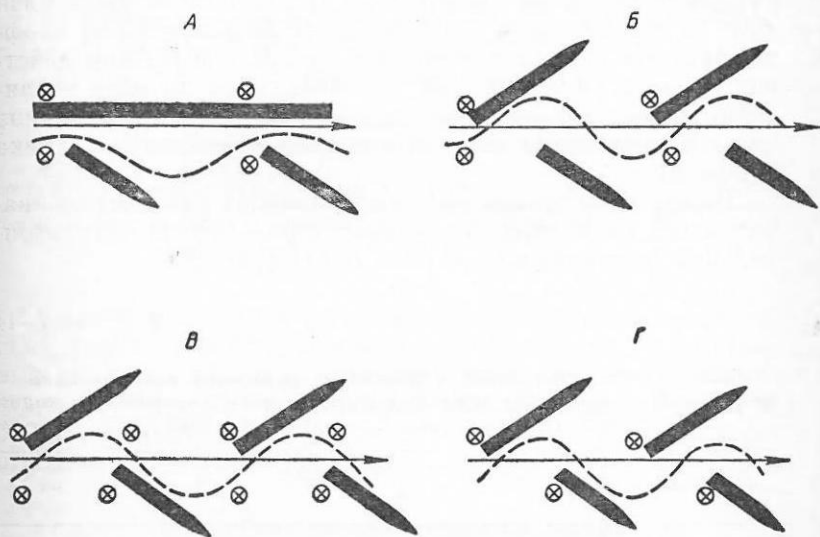


Рис. 85. Схематическое изображение различных коньковых способов передвижения на лыжах (вид сверху):

А — полуконьковый одновременный ход; Б — коньковый одновременный двухшажный ход; В — коньковый одновременный одношажный ход; Г — коньковый попеременный ход. Условные обозначения: *пунктир* — кривая перемещения общего центра масс; *→* — направление движения (по А. В. Кондрашову)

тизной 5° при передвижении коньковым попеременным ходом длина шага 4—5 м, а на подъеме 10° 2,7—3,2 м.

Преимущество конькового хода перед классическими по скорости достигает 15—20%. Крутизна подъема $8-9^\circ$ при хороших условиях скольжения является граничной, когда возможности ходов уравниваются. На более крутых участках выигрышнее подъем скользящим и ступающим шагом, на более пологих — коньковый.

Динамика передвижения на лыжах

Передвигаясь по лыжне, лыжник отталкивается с помощью лыж и палок. При этом на лыжника действуют те же силы, что и на бегуна (см. рис. 74), и, кроме того, сила трения скольжения. Ее величина равна произведению коэффициента трения скольжения на нормальную (перпендикулярную к лыжне) составляющую силы давления лыжи на снег. Чем меньше коэффициент трения скольжения, тем длиннее шаг и выше скорость при тех же энергозатратах. Для уменьшения коэффициента трения используются лыжные мази. Выбор мази зависит от температуры и состояния лыжни. При правильном подборе мази (что до сих пор является своеобразным искусством) коэффициент трения удастся снизить до 0,02—0,04. Силы действия лыжи и палки на снег увеличиваются по мере увеличения скорости и крутизны подъема. Кроме того, величина силы отталкивания зависит от квалификации лыжника (табл. 14).

Величина вертикальной составляющей силы отталкивания ногой колеблется в пределах 1100—1500 Н, а горизонтальной составляющей — 100—180 Н (рис. 86).

Таблица 14

Сила отталкивания рукой у лыжников различной квалификации при разной скорости передвижения попеременным двухшажным ходом (по В. Н. Манжосову, В. П. Маркину, 1980 г.)

Квалификация	Величина силы отталкивания рукой, Н	Скорость, м/с
I разряд	106—153	3,0—6,0
II разряд	78—132	3,0—5,5
III разряд	56—114	2,5—5,0
Новички	48—69	2,5—4,0

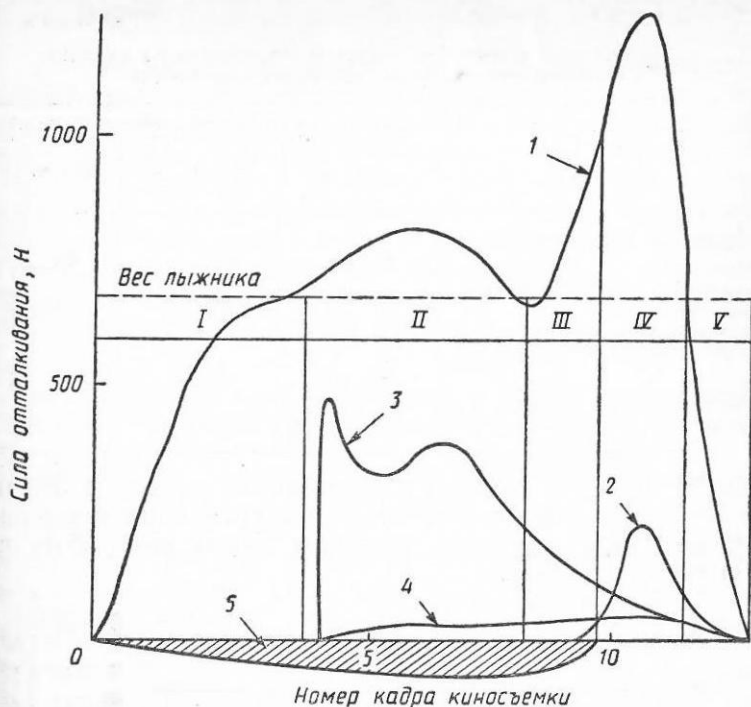


Рис. 86. Динамограммы отталкивания ног и рукой при передвижении на лыжах попеременным двухшажным ходом:

1 — вертикальная составляющая силы отталкивания ног; 2 — горизонтальная составляющая силы отталкивания ног; 3 — вертикальная составляющая силы отталкивания рукой; 4 — горизонтальная составляющая силы отталкивания рукой; 5 — сила трения скольжения (по В. Н. Манжосову, В. П. Маркину; Коті — переработано)

Сила отталкивания ног мало различается в классических ходах (одновременном и попеременном). В коньковых способах передвижения сила отталкивания ног составляет: под носком ботинка — 600 Н, под каблуком — 380 Н (вертикальная составляющая), горизонтальная составляющая — около 200 Н.

Энергетика передвижения на лыжах

Энергетические затраты при передвижении у лыжника зависят от длины дистанции (табл. 15).

Исходя из продолжительности работы, гонки на лыжах относятся к зоне большой (5 и 10 км) и умеренной (15,

**Особенности энергообеспечения передвижения на лыжах
на различных соревновательных дистанциях**

Показатели и единицы измерения	Длина дистанции и величины показателей		
	5 и 10 км	15 и 20 км	30 и 50 км
Аэробное энергообеспечение, %	70—80	80—90	90—95
Анаэробное энергообеспечение, %	20—30	10—20	5—10
Потребление кислорода (от максимального значения), %	95—100	85—95	85—95
Концентрация лактата в крови, мм/л	12—14	10—12	4—8

20, 30, 50, 70 км и более) относительной мощности. Однако в связи с резкой пересеченностью современных трасс правильное характеризовать гонки на лыжах как работу переменной мощности.

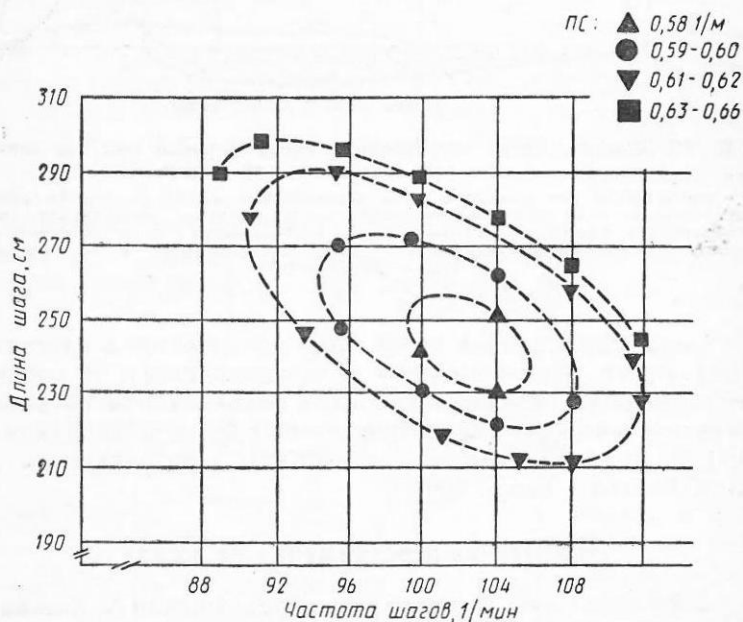


Рис. 87. Результаты экспериментального определения оптимального сочетания длины и частоты шагов при беге на лыжах (по В. В. Тихонову)

Оптимальные режимы передвижения на лыжах

Под оптимальными режимами в лыжных гонках понимают оптимальный способ передвижения, оптимальную динамику (раскладку) дистанционной скорости и оптимальное сочетание длины и частоты шагов.

Всего 65 лет назад (в 1924 г.) всерьез обсуждался вопрос о том, как рациональнее преодолевать подъемы: на лыжах или с лыжами в руках. С тех пор сложились определенные представления о рациональных способах передвижения на спусках, равнинных участках трассы и подъемах, которые представлены в таблице 16.

Таблица 16

Рациональные (+) и нерациональные (—) способы передвижения на лыжах при разной крутизне трассы

Способ	Крутизна трассы, град.					
	спуск	равнина	подъем			
			0	1—3	3—8	8—12
Спуск в низкой стойке	+	—	—	—	—	—
Спуск в высокой стойке	+	—	—	—	—	—
Одновременный бесшажный ход	+	+	—	—	—	—
Одновременный одношажный ход	+	+	+	—	—	—
Коньковый одновременный одношажный ход	—	+	—	—	—	—
Одновременный полуконьковый ход	—	+	+	—	—	—
Попеременный двухшажный ход	—	+	+	+	—	—
Коньковый одновременный двухшажный ход	—	+	+	+	—	—
Коньковый попеременный ход	—	—	—	—	+	—
Подъем скользящим шагом	—	—	—	—	+	—
Подъем скользящим бегом	—	—	—	—	+	—
Подъем ступающим шагом	—	—	—	—	+	—
Подъем «елочкой»	—	—	—	—	+	—

Передвижение на лыжах еще более, чем бег, требует экономии энергии, поскольку лыжник выполняет мышеч-

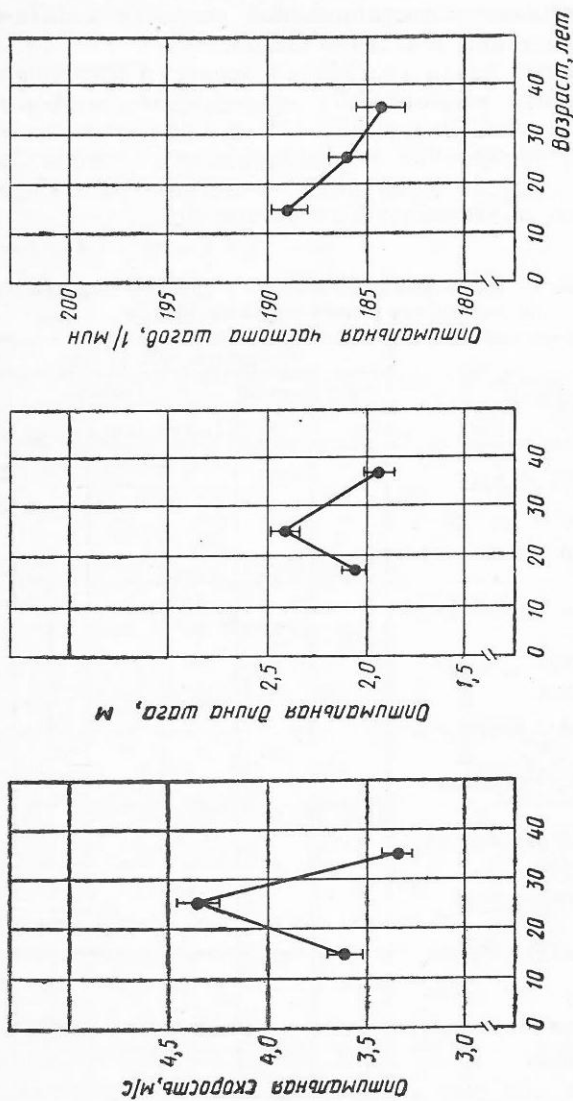


Рис. 88. Возрастные изменения оптимальных (наиболее экономичных) величин скорости, длины и частоты шагов при передвижении на лыжах попеременным двухшажным ходом; вертикальные отрезки — доверительные интервалы, в которых лежит 95% всех случаев

ную работу несколько десятков минут или даже несколько часов подряд. Поэтому для передвижения на лыжах найдены возрастные стандарты наиболее экономичной и пороговой (соответствующей анаэробному порогу) скорости (см. рис. 80), а также наиболее экономичные сочетания длины и частоты шагов (рис. 87, 88).

При снижении физической работоспособности человека, а также при усложнении условий передвижения на лыжах (увеличении крутизны подъема, коэффициента трения скольжения и т. д.) оптимальная скорость и оптимальная длина шага уменьшаются, а оптимальный темп увеличивается.

Биомеханика езды на велосипеде

Велосипед — самое распространенное техническое средство передвижения на земном шаре. Проект первого велосипеда предложил в 1495 г. Леонардо да Винчи, нарисовавший этот двухколесный механизм почти со всеми современными подробностями. Но об этом рисунке мир узнал лишь в конце XIX в., почти столетие спустя после того, как в России крепостной Артамонов сконструировал и изготовил первый в мире велосипед.

Езда на велосипеде — наиболее рациональный способ передвижения, поскольку благодаря седлу, поддерживающему и стабилизирующему тело, до минимума снижаются затраты энергии на перемещение тела в пространстве. Ведь активны только ноги велосипедиста, вращательное движение которых обеспечивает продольное перемещение тела.

Кинематика педалирования

Процесс вращения шатунов велосипеда называют педалированием. Педальирование есть результат трех одновременно совершаемых вращательных движений (рис. 89):

— бедра вокруг оси, проходящей через тазобедренный сустав;

— голени относительно коленного сустава.

— стопы относительно голеностопного сустава.

Эффективность двигательных действий велосипедиста зависит от посадки и техники педалирования. Посадкой называют позу гонщика на велосипеде. В зависимости от наклона туловища различают низкую, среднюю и высокую посадку. Чем ниже посадка, тем горизонтальнее расположено туловище и тем меньше мидель (т. е. наибольшая

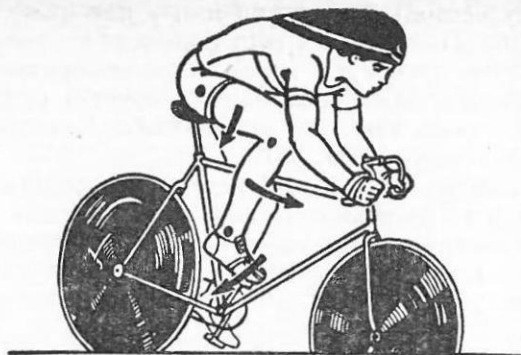


Рис. 89. Оси и направления вращения сегментов ног при педалировании на велосипеде (по Най)

величина площади сечения, перпендикулярного воздушному потоку). Следовательно, меньше и сила лобового сопротивления воздуха. Поэтому гонщики, как правило, применяют низкую посадку. Но при низких скоростях (например, при езде на велосипеде в оздоровительных целях) привычнее и удобнее средняя и высокая посадка.

При педалировании центры масс левой и правой ноги движутся по круговым траекториям, а вот общий центр масс двух ног практически не перемещается относительно велосипеда. Из этого следует, что при езде по горизонтальной поверхности вертикальные перемещения общего центра масс практически отсутствуют и, следовательно, работа, направленная на вертикальные перемещения тела, близка к нулю.

Характер изменения углов в коленном, тазобедренном и голеностопном суставах напоминает синусоиду, а минимальные и максимальные пределы величин суставных углов составляют соответственно $40-140^\circ$, $20-70^\circ$ и $80-100^\circ$.

Динамика и энергетика педалирования

На рис. 90 показано, как сила, прикладываемая к педали велосипеда, раскладывается на две составляющие: *А* — нормальную (перпендикулярную к педали) и *Б* — касательную, или тангенциальную. Полезной, продвигающей вперед является лишь тангенциальная составляющая сил.

При педалировании целесообразно, чтобы и правая, и левая нога в каждый момент времени создавали положи-

тельный (продвигающий вперед) момент силы. Это неосуществимо при импульсном педалировании и возможно при круговом педалировании при наличии специальных приспособлений — туклипсов и велошипов. Туклипсы необходимы для подтягивания педали вверх, а шипы — для ее проводки, т. е. перемещения назад и вперед.

Совместное действие мышц в режиме, близком к изометрическому, позволяет хорошо подготовленному велосипедисту развить силу 2500—3500 Н, а при проводке и подтягивании — 800—1100 Н.

Вопрос

В какой ситуации велосипедист может продемонстрировать силу, близкую к максимальной изометрической силе?

При передвижении на велосипеде механическая энергия затрачивается на преодоление силы трения качения и силы сопротивления воздуха (внешняя работа) и на перемещение ног относительно ОЦМ (внутренняя работа). Внешняя работа зависит от скорости передвижения, посадки и экипировки велосипедиста и коэффициента трения качения. Трение качения зависит от типа дорожного покрытия и самих колес. Чем больше поперечное сечение и ниже

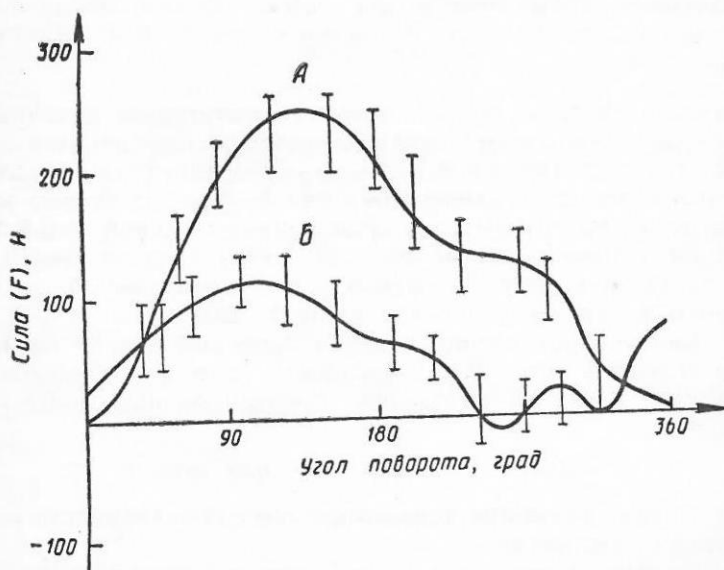


Рис. 90. Средние величины сил, прикладываемых к педали: А — нормальная составляющая силы; Б — тангенциальная (по В. Н. Селуянову, Б. А. Яковлеву)

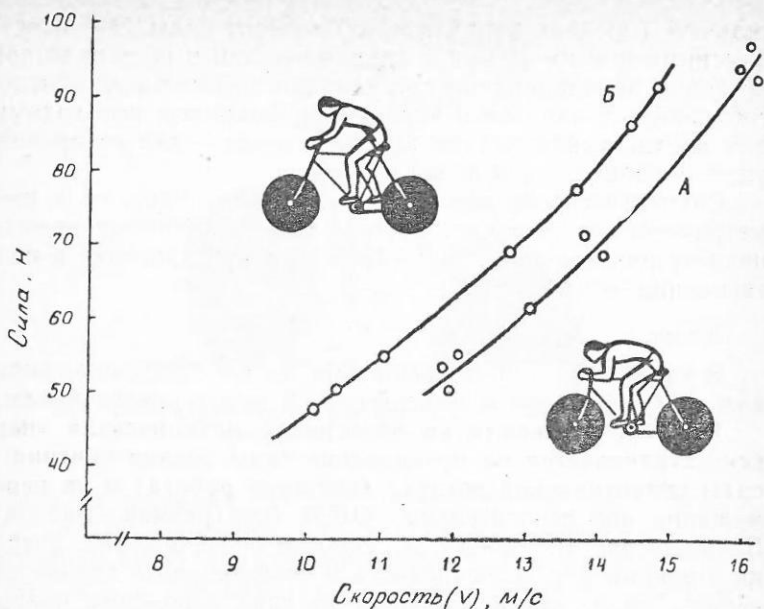


Рис. 91. Зависимость силы сопротивления воздуха от скорости передвижения на велосипеде и вида посадки. Условные обозначения: А — низкая (гоночная) посадка; Б — высокая посадка (по В. М. Зацюрскому с соавт.)

давление воздуха в шинах, тем больше трение качения и, следовательно, дополнительные затраты энергии. При езде по гладкой твердой поверхности на велосипеде со стандартными колесами, с давлением в них 7—8 атм стоимость метра пути вдвое меньше по сравнению с обычной ходьбой и втрое меньше, чем при беге. На очень гладких поверхностях затраты энергии уменьшаются наполовину, а на мощенных камнем дорогах, наоборот, возрастают вдвое.

Сила сопротивления воздуха пропорциональна квадрату скорости (рис. 91), а мощность, которую необходимо развить для ее преодоления, пропорциональна кубу скорости.

Вопрос для самоконтроля знаний

Почему здесь имеет место кубическая зависимость мощности от скорости?

Потери энергии на трение в системе передачи и осях хорошего велосипеда малы. Поэтому работа, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха, — наиболее весомая

фракция полной механической работы велосипедиста. Так, при скорости 5 м/с на преодоление сопротивления воздуха затрачивается около 50% всей развиваемой мощности, а при скорости 10 м/с уже 80%. Именно поэтому так важно снижать аэродинамическое сопротивление. Для этого поза и одежда велосипедиста должны быть наиболее обтекаемыми.

Плотно облегающая тело рубашка и специальный пластиковый шлем, например «шлем Мозера», напоминающий своими очертаниями нос реактивного самолета, позволяют на 3 с улучшить результат в трековой гонке на 4 км. Еще 1,5 с могут сбавить обтекаемые велотуфли без шнурков. Улучшение результата объясняется снижением силы вихреобразования. Сила вихреобразования возникает потому, что в местах отрыва струй воздуха возникают завихрения, где по закону Бернулли давление меньше. В зону пониженного давления направлена тормозящая, «отсасывающая» сила. Для уменьшения вихреобразования применяют и обтекаемые дисковые колеса вместо обычных.

Топография работающих мышц

В процессе педалирования непосредственно участвуют кости нижних конечностей, таз и мышцы, осуществляющие сгибание и разгибание ног (рис. 92). При нажатии на педаль разгибаются бедро, голень и стопа. При этом активны следующие мышцы:

- ягодичная, двуглавая, полусухожильная, полуперепончатая (разгибание бедра);
- четырехглавая (разгибание голени);
- икроножная, камбаловидная, задняя большеберцовая, длинные сгибатели пальцев, длинная и короткая малоберцовые (разгибатели стопы).

Задание

Перечислите основные мышцы, участвующие в осуществлении проводки и подтягивания при круговом педалировании на велосипеде.

Оптимальные режимы педалирования

Велосипедисты применяют круговое и импульсное педалирование. Их чередование отдалляет наступление утомления.

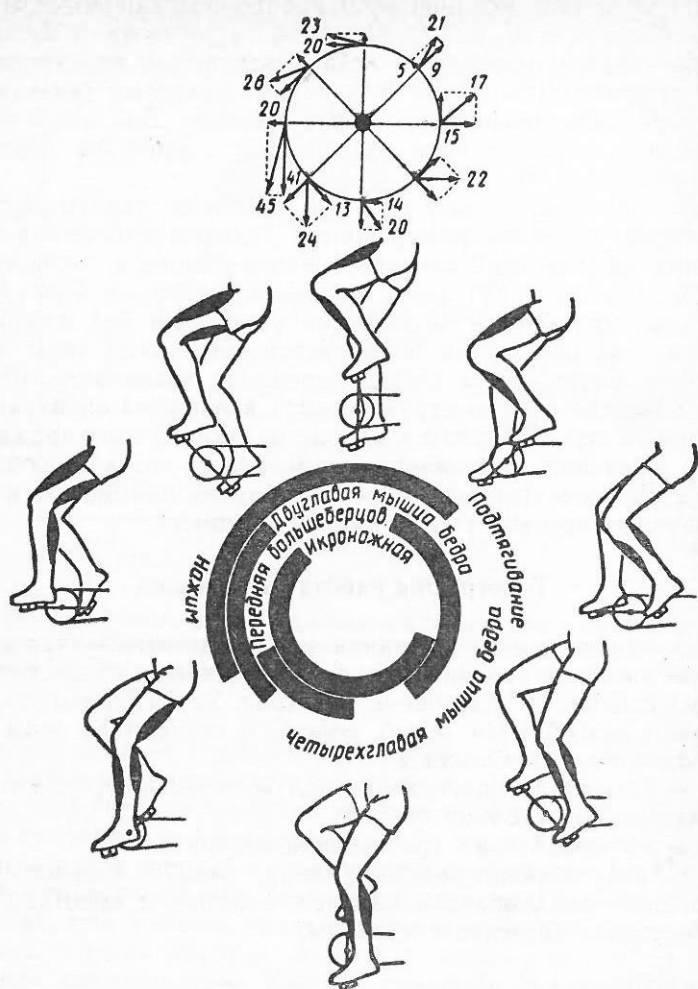


Рис. 92. Активность мышц ног при педалировании (по Л. В. Чхандзе; Ю. А. Голину, В. Ф. Татаренко, переработано); стрелками показаны векторы силы действия ноги на педаль и их нормальные тангенциальные составляющие

Эффективность езды на велосипеде зависит от частоты вращения педалей и выбора передачи. Чем больше передача, тем выше сила действия на педали и больше укладка — расстояние, преодолеваемое за один оборот педалей. За последние 40—60 лет значительное увеличение средней скорости на соревнованиях произошло исключительно за счет

увеличения укладки. Темп педалирования практически не изменился.

Используя метод кардиолидирования (программированного регулирования частоты сердечных сокращений), Ю. Г. Крылатых определил оптимальные режимы педалирования при разных уровнях частоты сердечных сокращений. Так, при ЧСС, равной 150 1/мин, оптимальный темп равен 87 1/мин, а укладка 6,8 м. А при ЧСС, равной 180 1/мин, оптимальный темп составляет 100 1/мин, а укладка 7,1 м. Эти рекомендации относятся ко взрослым велосипедистам высокой квалификации.

При выборе режима педалирования следует учитывать индивидуальные особенности спортсмена и внешние условия. Чем ниже физическая работоспособность, значительнее утомление и сложнее условия (плохое покрытие дороги, встречный ветер и т. д.), тем выше оптимальный темп и меньше оптимальная передача.

Вопросы для самоконтроля знаний

1. Какой критерий оптимальности имеется в виду, когда говорят об оптимальном сочетании темпа и укладки?
2. Как влияет на оптимальное сочетание темпа педалирования и укладки мышечная композиция (соотношение быстрых и медленных мышечных волокон)?

Тактика езды на велосипеде зависит от цели велосипедиста. Например, при прогулочной езде основной критерий оптимальности — экономичность, и наилучшей является тактика постоянной скорости.

Для достижения наивысшего спортивного результата гонщик должен так выбирать скорость и так ее изменять, чтобы полностью использовать потенциальные возможности энергетических систем. Например, в индивидуальной гонке преследования на 4 км наиболее выгодна тактика «вовсю». При этом скорость сразу после стартового разгона на 7—8% выше среднестанционной скорости, а в дальнейшем снижается (быстрее или медленнее — в зависимости от емкости фосфагенной и лактаcidной систем и мощности окислительной энергетической системы у данного спортсмена) (см. рис. 24).

До сих пор продолжается усовершенствование велосипеда. Наряду с многочисленными конструкциями обычных велосипедов все более широкое распространение получают tandems, а также одноместные и многоместные велосипеды, которые развивают скорость до 30—40 км/ч.

Контрольные вопросы

1. Какие способы передвижения на лыжах вам известны?
2. Каковы преимущества и недостатки конькового хода по сравнению с традиционными способами передвижения на лыжах?
3. Какие внешние силы влияют на величину энергетических затрат лыжника и велосипедиста?
4. Что такое оптимальная скорость и как она связана с возрастом и физической подготовленностью лыжников и велосипедистов?

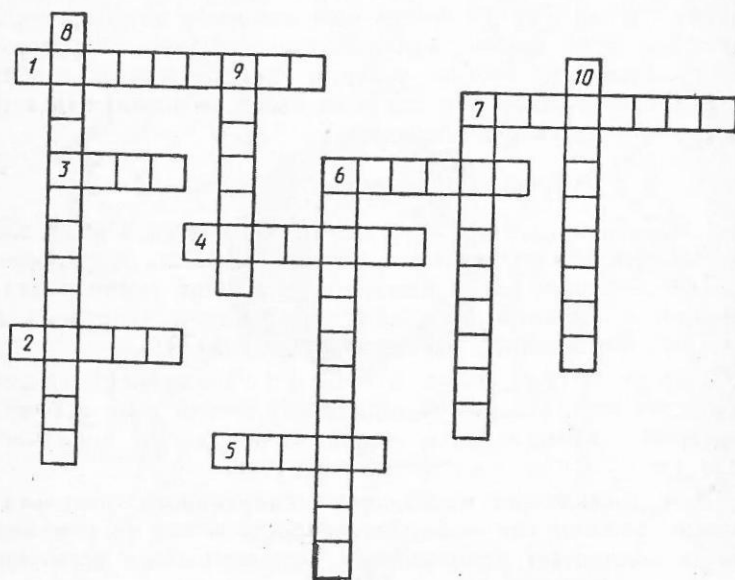


Рис. 93. Кроссворд.

По горизонтали. 1. Техническое устройство для передвижения. 2. Фаза в цикле педалирования, в которой момент силы достигает наибольшего значения. 3. Устройство для передвижения по мягкой или рыхлой поверхности. 4. Расстояние, преодолеваемое велосипедистом за один оборот шатунов. 5. Одна из фаз одновременного одношажного лыжного хода. 6. Часть двигательного действия, объединяющая в себе несколько фаз. 7. Кинематический показатель, характеризующий интенсивность передвижения.

По вертикали. 6. Фаза в цикле педалирования, во время которой нога сгибается в коленном, тазобедренном и голеностопном суставах. 7. Физический процесс, позволяющий осуществить передвижение на лыжах с высокой скоростью. 8. Процесс вращения педалей велосипеда. 9. Поза гонщика на велосипеде. 10. Изобретатель велосипеда в России.

5. Для чего нужны лыжные мази?
6. Какова топография мышц, работающих при разных способах педалирования на велосипеде?
7. Из каких компонентов (фракций) складывается механическая работа велосипедиста?
8. Как можно уменьшить затраты энергии на преодоление сопротивления воздуха при езде на велосипеде и беге на лыжах?
9. Какие факторы влияют на оптимальное сочетание темпа и длины шага при беге на лыжах и на оптимальный темп педалирования при езде на велосипеде?
10. Решите кроссворд (рис. 93).

ГЛАВА 9. БИОМЕХАНИКА ПЛАВАНИЯ

...Всем новым солдатам без изъятия должно учиться плавать: не всегда есть мосты.

Приказ Петра I

Плавать раньше, чем ходить!

Плавание (наряду с греблей) относится к циклическим локомоциям, осуществляемым по принципу отталкивания от жидкой среды. Плавание является важной частью двигательной культуры человека. Ведь еще в Древней Греции о некультурном человеке говорили: «Он не умеет ни плавать, ни читать».

Сотни наших современников демонстрируют незаурядные возможности быстрого прогресса человека в плавании. Так, если в 1875 г. английский капитан М. Уэбб преодолел 33 км, отделяющие Англию от Франции, за 22 ч, то столетие спустя П. Дик переплыла Ла-Манш всего за 7 ч 40 мин. А на показательных выступлениях спортсмены проплывают сотни метров с полной солдатской выкладкой или со связанными руками и ногами.

Но, к сожалению, очень многие люди не умеют плавать и боятся воды. Последнее объясняется прежде всего непониманием того факта, что по законам физики здоровый человек в теплой и спокойной воде утонуть не может. Поясним эту мысль.

Известно, что на тело, неподвижно лежащее в воде, действуют две силы: сила тяжести и выталкивающая (архимедова) сила, равная весу вытесненной телом воды. Но,

поскольку человеческое тело более чем на 60% состоит из воды, а в легких находится несколько литров воздуха, эти две силы примерно одинаковы. Чтобы поверить в это, сделайте простой опыт: стоя по грудь в воде, наберите в легкие как можно больше воздуха и лягте на воду. При этом ваше тело расположится вблизи поверхности воды. Если начать постепенно выпускать воздух из легких, тело также будет постепенно погружаться в воду. Проявив большую силу воли, можно продолжать выдох до тех пор, пока тело не опустится на дно водоема. Таким образом, изменяя объем воздуха в легких, человек может регулировать величину выталкивающей силы и тем самым плавучесть тела.

Сказанное подтверждают следующие цифры. Удельный вес тела на вдохе у пловцов-мужчин в среднем равен $0,98 \text{ г/см}^3$, а у женщин — $0,96 \text{ г/см}^3$ (что объясняется, по-видимому, большим объемом жировой ткани в теле женщин). На выдохе средние величины удельного веса боль-

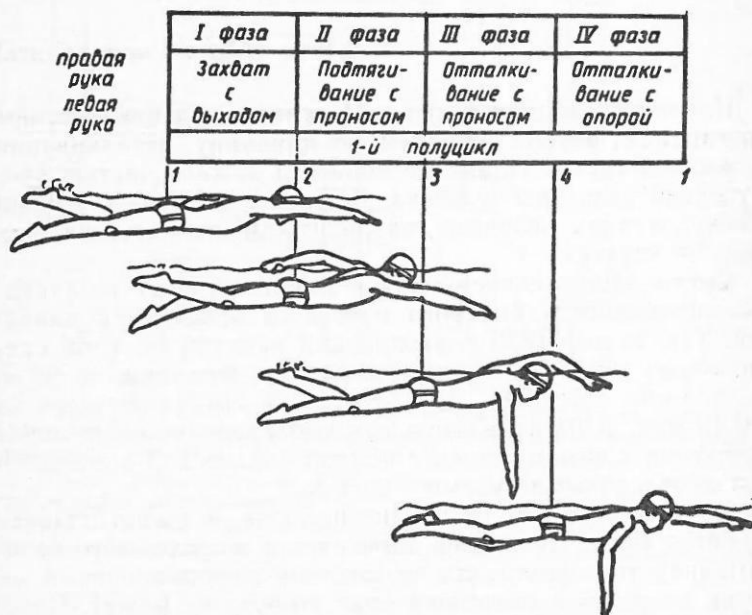


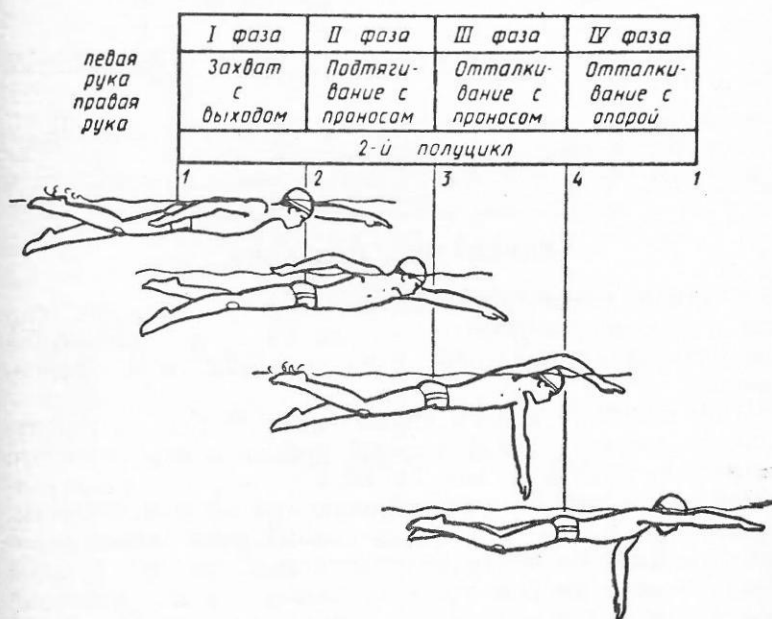
Рис. 94. Кинематика плавания кролем: фазы и граничные позы. В первом полуцикле вверху — действия арабские цифры — номера граничных поз:

1 — выход локтя левой руки из воды; 2 — выход левой кисти из воды; 3 — левой руки в воду; второй полуцикл аналогичен первому, он начинается с

ше: у мужчин $1,06 \text{ г/см}^3$ и у женщин $1,04 \text{ г/см}^3$. Напомним, что удельный вес пресной воды составляет $1,00 \text{ г/см}^3$ и что погруженное в воду тело может утонуть только в том случае, если его удельный вес больше удельного веса воды.

Кроме того, у плывущего человека плавучесть выше, чем у неподвижного. Ведь когда тело уплощенной формы движется в воздушной или водной среде таким образом, что передний его конец расположен несколько выше заднего, возникает направленная вверх подъемная сила. Именно такой случай имеет место в плавании. Величина подъемной силы увеличивается со скоростью. Этому явлению обязан своим существованием воднолыжный спорт. При чем мастера этого вида спорта могут нестись по воде и без лыж, на пятках.

Существует много разновидностей плавания, из которых здесь рассматривается только кроль (самый быстрый способ) и брасс (самый легкий).



вой рукой, внизу — левой рукой; во втором полуцикле наоборот;

прохождение локтя правой руки мимо плеча; 4 — момент полного погружения выхода локтя правой руки из воды (по Р. Хальяндю, с соавт., переработано)

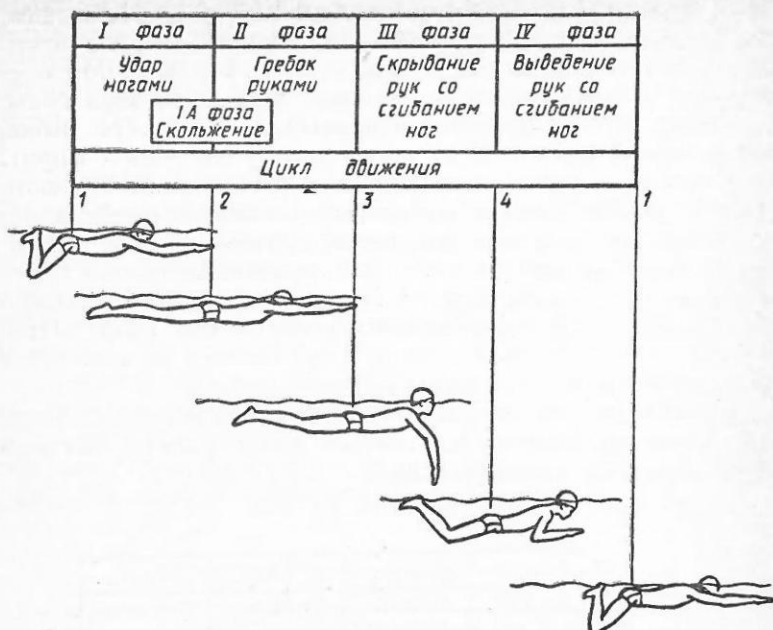


Рис. 95. Кинематика плавания брассом: фазы и граничные позы; арабские цифры — номера граничных поз:

1 — начало разгибания в коленных суставах; 2 — момент выпрямления ног в коленных суставах; 3 — окончание движения кистей назад; 4 — начало разгибания рук в локтевых суставах (по Р. Хальянду с соавт.)

КИНЕМАТИКА ПЛАВАНИЯ

Фазовый состав и граничные позы при плавании кролем и брассом изображены на рис. 94 и 95. Кинематика рассматриваемых способов плавания существенно различается.

При плавании кролем полный цикл состоит из чередующихся гребков правой и левой руками и определенного количества ударов ногами. По количеству этих ударов различают двух- и шестиударный варианты техники. В шестиударном кроле (см. рис. 94) на полный цикл движений руками приходится шесть ударов ногами — по три каждой ногой. В двухударном кроле на полный цикл движений рук выполняются только два удара — по одному каждой ногой.

Шестиударный кроль применяется на спринтерских дистанциях, а двухударный — на стайерских. Обучение детей обычно начинают с шестиударного варианта.

Используя рис. 94, дадим представление о целях, к которым должен стремиться кролист в каждой фазе.

I фаза — как можно меньше терять скорость продвижения вперед;

II фаза — начать увеличение скорости;

III фаза — повысить скорость;

IV фаза — как можно более поднять скорость.

Выдох (при повороте головы вправо) осуществляется в III и IV фазах первого полуцикла, а вдох — в I и II фазах второго полуцикла.

Цели, к которым должен стремиться брассист в каждой из фаз, следующие (см. рис. 95):

I фаза — повысить скорость;

II фаза — как можно выше поднять скорость;

III фаза — минимизировать падение скорости;

IV фаза — как можно меньше терять скорость.

Выдох осуществляется во II фазе и начале III фазы, а вдох — в конце III фазы и начале IV фазы. С конца IV фазы до начала II фазы — задержка дыхания.

ДИНАМИКА ПЛАВАНИЯ

В воде тело человека находится под действием нескольких сил, которые, суммируясь, обеспечивают его плавучесть в неподвижном состоянии и продвижение вперед при плавании (рис. 96). Рассмотрим их подробнее.

1. Вертикально-направленные силы:

Сила тяжести $G = mg$,

где m — масса тела, кг; g — ускорение свободного падающего тела, m/c^2 .

Выталкивающая (архимедова) сила $F_a = Q \cdot \rho_v$,

где Q — объем тела, cm^3 ; ρ_v — удельный вес воды, $г/см^3$.

Вопрос для самоконтроля знаний

В каких единицах измеряется выталкивающая сила? Предложите коэффициент, при умножении на который результат измерения этой силы получается в ньютонах.

Эта сила приложена к центру объема тела пловца. Центр объема, как правило, не совпадает с центром масс. Поэтому возникает вращающий момент (см. рис. 96, Б) и ноги человека, неподвижно лежащего в воде, опускаются.

Подъемная сила появляется при обтекании тела потоком воды. Она пропорциональна площади горизон-

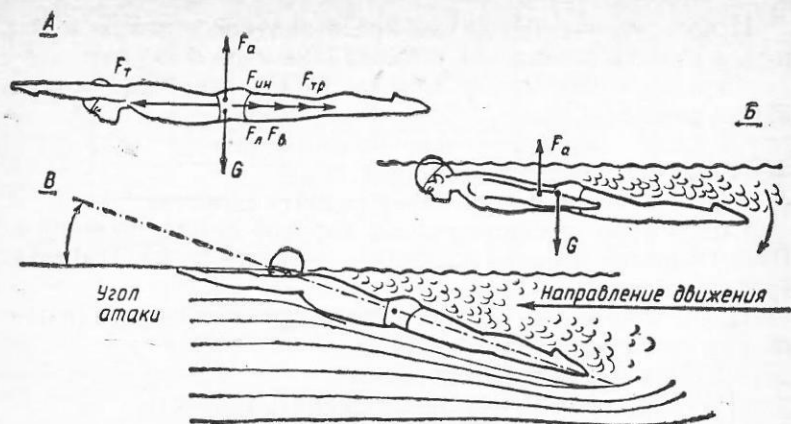


Рис. 96. Силы, действующие при плавании (А и Б), и угол атаки (В); G — сила тяжести; F_T — сила тяги, создаваемая движениями пловца; F_a — выталкивающая (архимедова) сила; $F_{ин}$ — сила инерции, возникающая при ускорении и торможении тела пловца; $F_{тр}$ — сила трения; $F_{л}$ — сила лобового сопротивления воды; $F_{тв}$ — тормозящая сила вихреобразования (и сила волнообразования, действующая в том же направлении)

тального сечения тела и скорости набегающего потока и зависит от угла атаки (см. рис. 96, В).

2. Горизонтально-направленные силы:

Продвигающая сила (или сила тяги). Она возникает в результате действий руками и ногами, о технике которых даже среди специалистов по плаванию нет единого мнения. Например, лишь малоквалифицированные пловцы-кролисты выполняют гребок прямой рукой. Значительно больший эффект дает гребок по зигзагообразной траектории, вид которой зависит от особенностей телосложения и двигательных качеств.

Сила лобового сопротивления:

$$F_s = \rho S_m c_x v^2,$$

где ρ — удельный вес воды, кг/м³;

S_m — площадь миделя тела, м² (т. е. наибольшая площадь поперечного сечения тела в плоскости, перпендикулярной к направлению движения; рис. 97);

c_x — безразмерный коэффициент сопротивления, зависящий от формы тела; его величина у человека лежит в пределах от 0,58 до 1,04 (минимальная величина коэффициента c_x для каплевидного тела равна 0,5);

v — скорость, м/с.

Сила сопротивления вихреобразования, зависящая от формы и характера поверхности тела. В тех местах, где струи воды отрываются от поверхности тела, образуются завихрения и по закону Бернулли давление понижается. Из-за разности давлений возникает сила, которая как бы отсасывает тело назад. Она и называется силой сопротивления вихреобразования. Незначительные изменения положения тела, не увеличивающие или почти не увеличивающие мидель тела, могут ухудшить его обтекаемость. Во время скольжения опускание головы пловца вниз увеличивает сопротивление на 8—12%, а отклонение ее от оптимального положения вверх — на 10—20%.

Сила трения о воду ($F_{тр}$): устья пор и складки кожи, волосы на коже, рыхлый или ворсистый материал костюма пловца способствуют увеличению сопротивления.

Сила сопротивления волнообразования: пловец, находящийся у грани водной и воздушной среды, поднимает частицы воды выше среднего уровня водной поверхности. Они уже не удерживаются давлением среды, и пловцу приходится преодолевать еще и силу тяжести смещенных частиц воды.

Силы инерции ($F_{ин}$) ускоряемых и тормозимых звеньев и всего тела стоят особняком. Их не отнесешь к горизонтальным или вертикальным, поскольку сила инерции направлена противоположно ускорению и равна произведению массы (m) на ускорение (a): $F_{ин} = -ma$.

ТОПОГРАФИЯ РАБОТАЮЩИХ МЫШЦ

Эффективное использование гребков руками и ногами возможно в том случае, если туловище пловца представляет собой достаточно жесткую конструкцию, которая нахо-

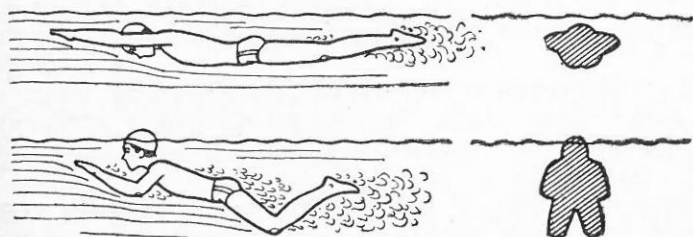


Рис. 97. Величина миделева (лобового) сечения тела и завихрение водяных струй при разных положениях пловца в воде (по Л. П. Макаренку; Каунсилмену)

дится в обтекаемом и уравновешенном положении. Обеспечивается это за счет напряжения мышц живота и спины. Остальные же мышцы туловища должны быть расслаблены.

При плавании кролем наиболее активны мышцы, осуществляющие сгибание кисти. В брассе высока активность мышц ног. Но значительная нагрузка приходится и на руки (особенно в спортивном плавании), выполняющие близкие к круговым гребковые действия, напоминающие движения руками, по локоть опущенными в два кувшина с узкими горлышками.

Электромиографические портреты плавания, изображенные на рис. 98 (кроль) и рис. 99 (басс), показывают работу основных активных мышц пловца в разные фазы.

Задание для самоконтроля знаний

Сопоставляя попарно рис. 94 и 98 (кроль) и рис. 95 и 99 (басс), определите, в какой фазе цикла какие мышцы наиболее активны.

Энергетика плавания

Силы, от которых зависит сопротивление воды, являются основными из тех, что приходится преодолевать пловцу. Поскольку плотность воды в 800 раз больше плотности воздуха, плавание требует больших затрат энергии и является наименее экономичным видом локомоций человека. Коэффициент механической эффективности (аналогичный коэффициенту полезного действия) составляет у пловцов 1—5% и увеличивается по мере повышения квалификации. Это намного ниже, чем при наземных локомоциях человека (20—40%), и ниже, чем у рыб и морских животных. Так, у зеленой черепахи, форели и золотой рыбки коэффициент механической эффективности составляет соответственно 10, 14 и 40%. При плавании в ластах коэффициент механической эффективности выше, чем без ласт,—около 17%. Эти факты говорят о неиспользуемых резервах экономизации техники передвижения человека в водной среде.

Энергетическая стоимость метра пути у пловцов международного класса примерно на 40% ниже по сравнению с пловцами невысокой квалификации. Для новичков басс (при скорости 0,3—0,5 м/с) оказывается на 30% более экономичным, чем кроль.

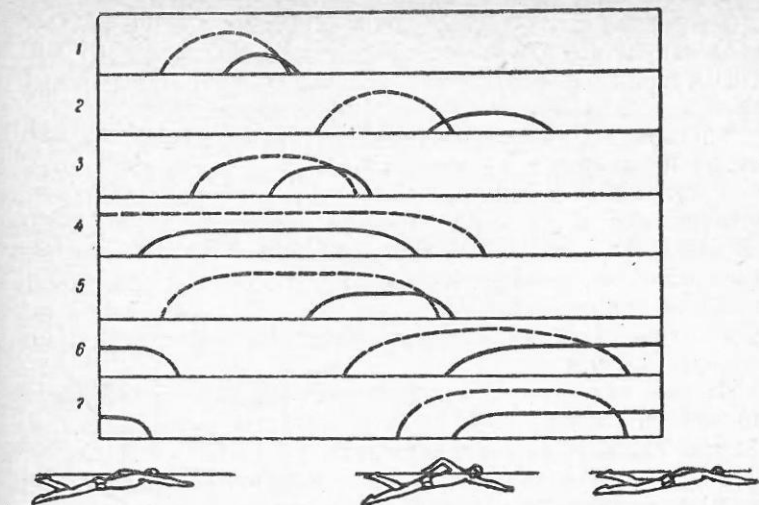


Рис. 98. Электромиографический портрет плавания кролем (по И. М. Козлову);

мышцы: 1 — двуглавая м. плеча; 2 — трехглавая м. плеча; 3 — большая грудная м.; 4 — большая круглая м.; 5 — широчайшая м. спины; 6 — дельтовидная м.; 7 — трапецевидная м.; сплошная линия — произвольный темп, пунктир — максимальный темп

Оптимизация плавания

Основные требования к технике и тактике пловца вытекают из закономерностей динамики и энергетики плавания. Наиболее общим является требование максимизировать силу тяги и минимизировать сумму тормозящих сил. Максимизация силы тяги достигается предельным повышением силы взаимодействия пловца с водой при гребковых действиях руками и отталкивании ногами (в бросе). На всем протяжении гребка рука должна перемещаться в воде с ускорением, благодаря чему хороший пловец непрерывно ощущает «опору на воду».

Поддерживать высокую силу тяги на всей дистанции человек может только в том случае, если до самого финиша сохранит достаточно энергии. Но плавание весьма энергоемкий вид двигательной деятельности. Поэтому здесь особенно важно исключить непроизводительные затраты энергии. С этой целью:

- 1) устраняют лишние движения;
- 2) выбирают оптимальный (наиболее экономичный)

темп движений, причем каждой скорости плавания у данного человека соответствует свой оптимальный темп;

3) стараются снизить величины тормозящих сил;

4) устраняют непроизводительные мышечные напряжения.

В плавании, как ни в одном другом виде спорта, важно умение расслаблять те мышцы, которые в данный момент не участвуют в выполнении продвигающей работы. Поэтому, например, в кроле при проносе над водой рука должна двигаться с минимальным напряжением. Также и при плавании брассом, в фазе скольжения (которая в спортивном плавании сокращается до минимума), большинство мышц расслаблено (что видно на электромиографическом портрете, см. рис. 99).

Из тормозящих сил наиболее велика сила лобового сопротивления воды и сила сопротивления вихреобразования. Обе они снижаются с уменьшением угла атаки, т. е. угла между продольной осью тела и направлением движения. Чем меньше угол атаки, тем меньше:

1) мидель тела и, следовательно, сила лобового сопротивления;

2) поверхность отрыва струй и, следовательно, сила сопротивления вихреобразования.

Таким образом, пловец должен выбирать положение тела по возможности горизонтальное и вытянутое в направлении передвижения. При этом, говоря словами Д. Каунсилмена, «лобовое сопротивление и сопротивление вихреобразования обмениваются на сопротивление трения тела пловца о воду», которое сравнительно невелико. Пловцы низкой квалификации показывают невысокую скорость, в частности, потому, что их тело находится в плохо обтекаемом положении, увлекает за собой большую массу воды и образует позади себя водяные вихри.

Для снижения непроизводительных затрат энергии следует уменьшать внутрицикловые колебания скорости. В кроле они меньше, чем в брассе. Это достигается непрерывной работой ног кролиста и тем, что одна рука начинает гребок захватом в тот момент, когда другая рука еще не завершила отталкивание (рис. 94).

Все сказанное объясняет, почему кроль является более скоростным стилем, чем брасс. Принятая при плавании кролем кинематика двигательных действий обеспечивает меньшие величины сил лобового сопротивления, сопротивления вихреобразования и сил инерции разгоняемых и тормозимых звеньев тела.

Контрольные вопросы

1. В чем принципиальные отличия способов плавания кролем и брассом?

2. От чего зависит сила сопротивления воды при плавании? Как она зависит от скорости пловца?

Задание для самоконтроля знаний

Нарисуйте зависимость суммарной силы сопротивления воды от скорости пловца. Пользуясь этим графиком, объ-

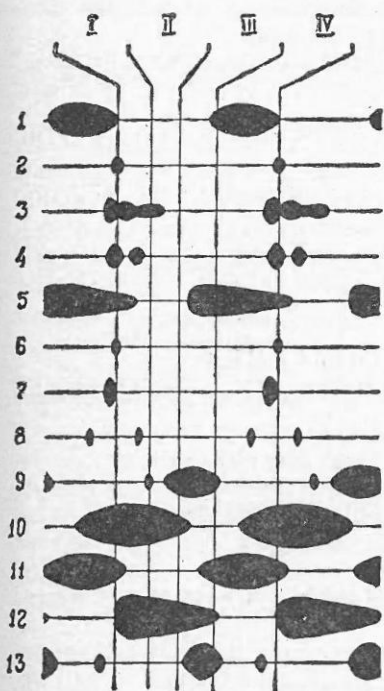


Рис. 99. Электромиографический портрет плавания брассом (по Yoshizawa с соавт.): римские цифры — номера фаз в соответствии с рис. 94;

мышцы: 1 — передняя большеберцовая м.; 2 — икроножная м.; 3 — медиальная широкая м.; 4 — прямая м. бедра; 5 — двуглавая м. бедра; 6 — большая ягодичная м.; 7 — прямая м. живота; 8 — м. выпрямляющая позвоночник; 9 — двуглавая м. плеча; 10 — трехглавая м. плеча; 11 — дельтовидная м.; 12 — большая грудная м.; 13 — широчайшая м. спины

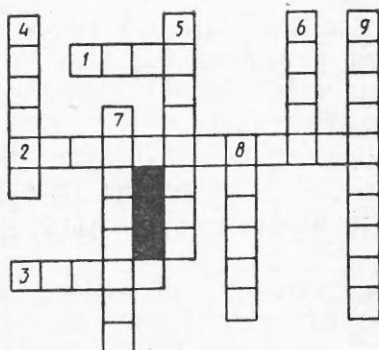


Рис. 100. Кроссворд.

По горизонтали. 1. Период повторения движения. 2. Свойство тела, зависящее от позы и влияющее на сопротивление встречному потоку. 3. Способ плавания.

По вертикали. 4. Двигательное действие рукой при плавании кролем. 5. Вид локомоций. 6. Наиболее легкий способ плавания. 7. Ученый, установивший соотношение скорости движения водяных струй и величины давления. 8. Площадь лобового сопротивления тела. 9. Фаза движений в брассе, длительность которой существенно зависит от квалификации спортсмена

ясните, почему внутрицикловые колебания скорости снижают экономичность плавания.

3. Какое влияние на скорость плавания оказывают силы инерции ускоряемых и тормозимых звеньев тела?

4. Какие мышцы наиболее активны при плавании кролем и брассом?

5. Как измерить экономичность плавания? Почему ее величина отличается от экономичности других локомоций человека?

6. Почему уменьшение внутрицикловых колебаний скорости повышает экономичность плавания?

7. Как энергетическая стоимость движений пловца зависит от техники и тактики плавания?

8. Как, не снижая скорости, сократить затраты энергии при плавании?

9. В чем состоит явление вихреобразования? Как оно влияет на скорость плавания?

10. Отгадайте кроссворд (рис. 100).

ГЛАВА 10. БИОМЕХАНИКА ПЕРЕМЕСТИТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ И ПРЫЖКОВ

Силы напрягать свои,
Подниматься все выше и выше —
Вот что достойно труда.

Вергилий

От пентатлона — к королеве спорта!

Переместительные действия (метания и удары) и прыжки многообразны. В этой главе рассматриваются те из них, которые входят в комплекс ГТО.

Состязания в метаниях и прыжках были популярны всегда. Ведь от умения далеко и точно метать, далеко и высоко прыгать нередко зависит жизнь человека.

В Древней Греции метали диск и копье, с которого во избежание несчастного случая снимался металлический наконечник. Состязания в метании копья на дальность и на точность проводились между ассирийскими солдатами. В Ирландии на народных празднествах особой популярностью пользовались прыжки в высоту и вид метаний, который послужил прообразом будущего метания молота. Пры-

жок в высоту для воинов Севера был обязательным. Чтобы быть допущенным в ряды воинов, нужно было уметь перепрыгнуть через стоящего человека.

МЕТАНИЕ ГРАНАТЫ И МЯЧА

Для всех разновидностей метаний характерны общие закономерности. Но детали техники в разных видах метаний различны.

Кинематика метаний

Рассмотрим этот вопрос на примере метания гранаты с разбега, в котором выделяют четыре части:

1) разбег, цель которого — придать телу возможно более высокую скорость относительно земли: к этой скорости добавляется скорость броска рукой;

2) подготовка к броску; в конце этой фазы туловище отклонено в сторону, противоположную метанию; правая рука (если метание производится правой рукой) почти прямая; правая нога сильно согнута; левая согнута и опирается на внутренний свод стопы; левая рука полусогнута и находится впереди туловища;

3) бросок, который начинается с разгибания правой ноги; затем происходит сгибание и поворот туловища вперед и, наконец, рывок рукой;

4) остановка после броска, которая имеет целью затормозить продвижение вперед, что достигается переступанием правой ноги перед левой.

У метателей гранаты, имеющих высшие достижения (70—85 м)¹, в отличие от метателей невысокого класса скорость снаряда во время броска непрерывно нарастает.

Топография работающих мышц

Рассмотрим работу мышц при метании гранаты и мяча. Основные мышечные группы, участвующие в метании, включаются в работу последовательно. Причем перед сокращением мышцы предварительно растягиваются и при этом запасают энергию.

Сегменты метаемой руки вовлекаются в процесс метания начиная с проксимального — плеча. Затем активизиру-

¹ Наряду с мужчинами высокие результаты в метании гранаты показывали женщины. Еще в 1948 г. ученица В. И. Алексеева Н. Смирницкая бросила гранату на 53,71 м.

ется предплечье, кисть, пальцы. Последними включаются в работу мышцы дистальных звеньев кисти метательной руки.

Непосредственно перед броском тело метателя превращается как бы в натянутый лук. Ведущими мышцами при выполнении броска являются мышцы живота; мышцы пояса верхней конечности; большая грудная мышца; широчайшая мышца спины; мышцы, участвующие в разгибании локтевого сустава; сгибатели кисти и пальцев.

Вопрос для самоконтроля знаний

Сила инерции разгоняемого снаряда действует на кисть и растягивает мышцы-сгибатели кисти и пальцев. Как это отражается на дальности броска?

Оптимальные режимы метаний

Вопрос об оптимальных режимах при перемещении снаряда можно рассматривать с двух сторон. Во-первых, под каким углом к горизонту необходимо толкать или метать снаряд? Во-вторых, какая динамика скорости снаряда является оптимальной?

При ответе на первый вопрос необходимо исходить из законов механики, согласно которым дальность полета снаряда (L) равна:

$$L = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g},$$

где v_0 — скорость вылета, м/с; α — угол вылета, град.

Это уравнение, однако, не вполне применимо к спортивным метаниям, поскольку не учитывает атмосферных влияний (ветра и т. д.) и того факта, что граната, ядро, диск и копье покидают руку метателя на некоторой «высоте выпуска».

Если бы граната покидала руку на уровне земли ($h_0 = 0$), оптимальный угол вылета составлял бы 45° . Поскольку это не так, то для достижения максимальной дальности угол вылета должен быть меньше ($30-40^\circ$) (рис. 101). С увеличением высоты выпуска оптимальный угол вылета уменьшается.

Дальность полета снаряда при оптимальном угле вылета определяется в основном скоростью вылета. Поэтому следует организовать свои двигательные действия так, чтобы максимально увеличить скорость вылета. Именно для этого необходимо постепенное вовлечение в процесс метания звеньев руки — от проксимальных к дистальным. В со-

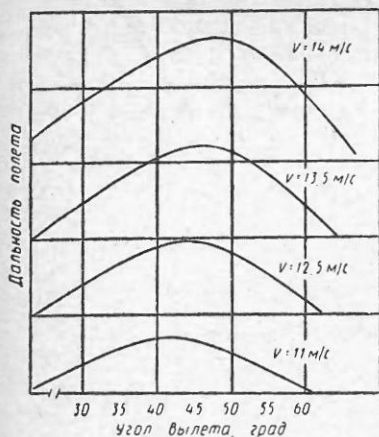


Рис. 101. Зависимость дальности полета спортивного снаряда (по вертикали — относительные единицы) от угла вылета при различной скорости вылета (по В. Н. Тутевичу, переработано)

ответствии с этим предплечье ускоряется раньше, чем кисть, а плечо — раньше, чем предплечье (рис. 102).

При метании мяча в цель точность попадания тем выше, чем меньше дальность. Так, при броске по кольцу в баскетболе точность попадания уменьшается на 40—80% с дистанции 1 м до 10—20% с дистанции 7 м.

Есть основания ожидать, что если человек точен в одном виде метаний, то он будет точен и в других видах. При обучении прицельным метаниям нужно иметь в виду существование сенситивного периода (от 12 до 14 лет), когда обучающие мероприятия наиболее эффективны. В этот период происходит быстрое естественное развитие меткости.

ПРЫЖКИ В ВЫСОТУ

Известно несколько способов прыжков в высоту, и в каждом из них прыжок состоит из разбега, отталкивания, перехода через планку и приземления.

Кинематика прыжков в высоту

При прыжке способом «перешагивание», или «ножницы», разбег выполняется под углом 30—45°. Отталкивается спортсмен дальше от планки ногой в 70—80 см от проекции планки. Оттолкнувшись, он удерживает туловище в вертикальном положении. Маховая нога, слегка согнутая в колене, поднята как можно выше, толчковая опущена вниз (рис. 103 — вверху). Достигнув уровня планки, махо-

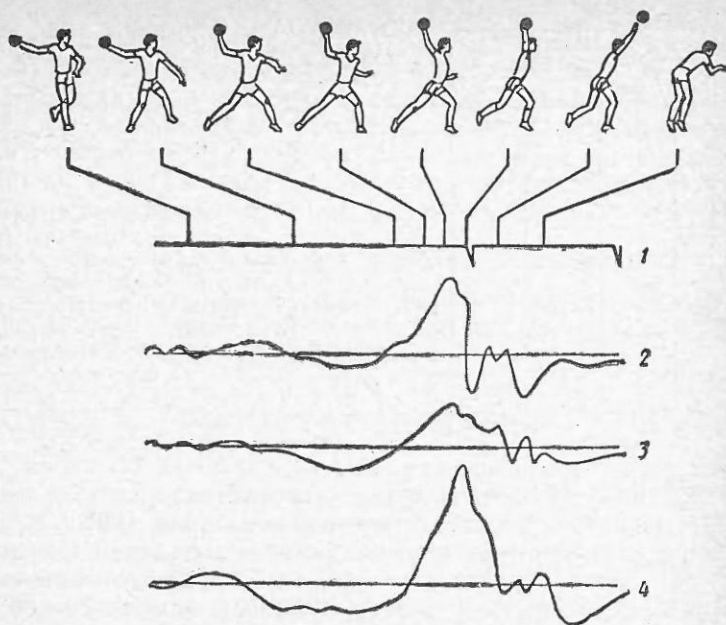


Рис. 102. Метание мяча в цель:

1 — момент вылета мяча и попадания в цель (обозначены стрелками); 2, 3 и 4 — акселерограммы дистальной части плеча, предплечья и кисти (по А. А. Данилову, переработано)

вая нога выпрямляется, а затем опускается за нее. Затем происходит «перешагивание», при этом туловище сильно наклоняется вперед и к планке, одновременно опускаются руки, слегка согнутая толчковая нога переходит через планку дугообразным движением. Приземление происходит на маховую ногу. Основной недостаток этого прыжка — чрезвычайно высокое положение общего центра масс тела по отношению к планке в момент перехода через нее.

При прыжке способом «перекат» этот недостаток частично устраняется. Разбег происходит под углом $30-40^\circ$ к планке, отталкивание выполняется ближней к планке ногой. В начале взлета туловище занимает вертикальное положение боком к планке. В полете спортсмен как бы ложится на планку, а толчковая нога проходит между планкой и маховой ногой. Благодаря вращательному движению туловища вокруг продольной и поперечной осей прыгун переходит планку, одновременно поворачиваясь лицом и грудью вниз (рис. 104 — слева).

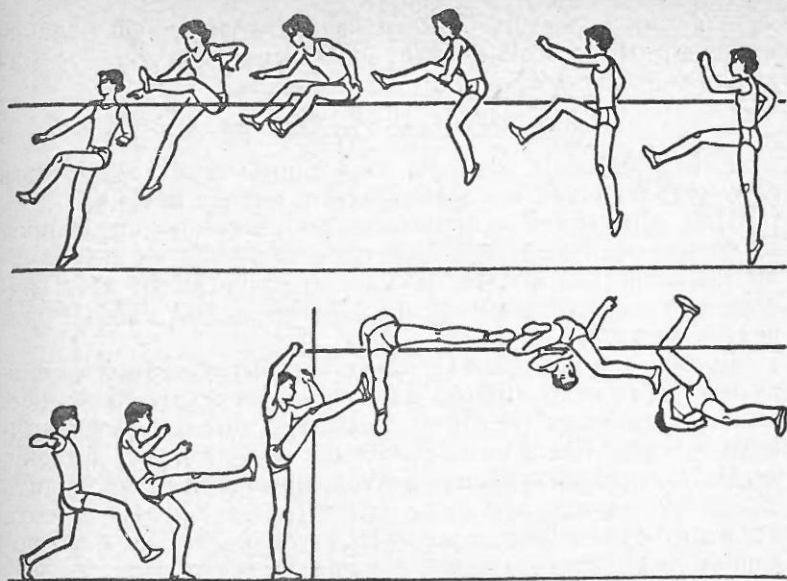


Рис. 103. Прыжок в высоту способом «перешагивание» (вверху) и «перекидной»

В еще более рациональном способе прыжка в высоту — «перекидным» — разбег, подготовка к отталкиванию и отталкивание выполняются так же, как и в способе «перекат». Однако переход планки происходит в положении лицом вниз (рис. 103 — внизу и рис. 104 — справа).

В настоящее время мировой рекорд в прыжках в высоту у мужчин перешагнул за 2 м 40 см, а у женщин — за 2 м. Причем спортсмены экстра-класса используют только два способа — «перекидной» и «фосбюри-флоп». В прыжке «фосбюри-флоп» спортсмен преодолевает планку в положении спиной вниз.

Задание для самоконтроля и закрепления знаний

Воспользовавшись рис. 104, докажите, что прыжок способом «перекидной» рациональнее «переката».

Динамика прыжков в высоту

У взрослых прыгунов вертикальная составляющая силы действия на опору при отталкивании (а также и при амортизации) составляет 3500—6000 Н. Эти величины уве-

личиваются с ростом подготовленности прыгунов. Значительную роль в этом играют вертикальные ускорения маховых конечностей.

Вопрос для самоконтроля знаний

Каким образом маховые движения могут увеличивать силу отталкивания и, следовательно, высоту прыжка?

При знакомстве с биомеханикой прыжков впечатляют не только величины силы действия на опору, но и величины механической мощности. Так, по расчетам В. М. Дьячкова для прыжка в высоту на 2,3 м взрослый прыгун развивает мощность до 5 кВт.

Выбор способа прыжка влияет на высоту общего центра масс тела относительно планки при переходе через нее. При современных способах прыжка в высоту, «перекидном» и «фосбюри-флоп», спортсмен преодолевает планку, когда траектория общего центра масс может проходить на уровне планки или даже ниже (см. рис. 104). Высота подъема общего центра масс (H_2) увеличивается с укорочением фазы отталкивания. Но при этом уменьшается импульс силы действия на опору. Таким образом, задача оптимизации состоит в том, чтобы увеличить импульс силы, несмотря на снижение длительности отталкивания.

ПРЫЖКИ В ДЛИНУ С РАЗБЕГА

Длина разбега обычно составляет 20—50 м (12—24 беговых шага). Результат прыжка сильно зависит от скорости в завершающей части разбега. Характерной особенностью техники разбега является увеличение времени кон-

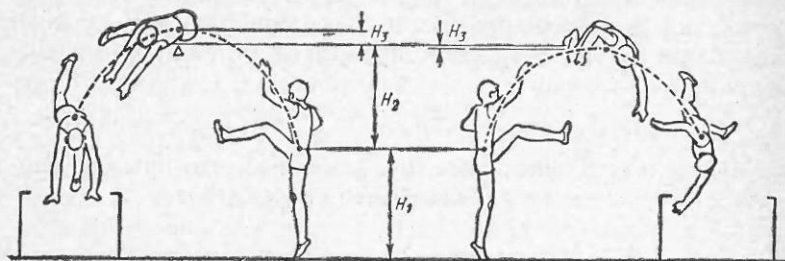


Рис. 104. Прыжок в высоту способом «перекат» (слева) и «перекидной»

H_1 — высота общего центра масс; H_2 — высота подъема общего центра масс;
 H_3 — разница между высотой общего центра масс тела при переходе через планку и высотой планки

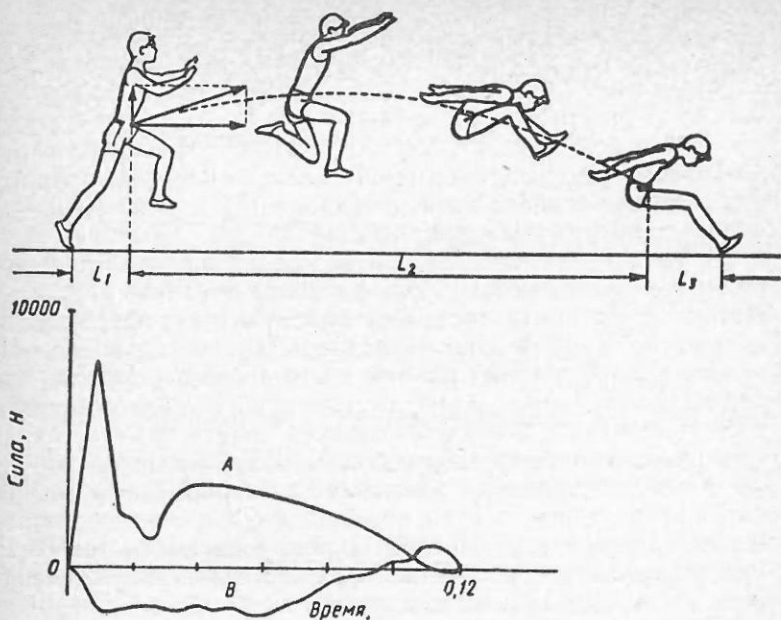


Рис. 105. Изменение во времени силы действия прыгуна на планку при отталкивании:

A — вертикальная составляющая; B — горизонтальная составляющая (по Bosco с соавт.); кинематика прыжка в длину способом «согнувшись»; стрелками обозначены векторы скорости общего центра масс в начале полета; время в секундах (по В. А. Петрову, Ю. А. Гагину)

такта с опорой и резкое уменьшение времени полета в последнем шаге разбега. Этим создаются предпосылки для быстрой и точной постановки ноги на брусок и активного отталкивания. Если время контакта с опорой при отталкивании меньше, то прыжок длиннее. Следовательно, фаза отталкивания должна быть как можно короче. Чтобы эффективно оттолкнуться, надо быстро поставить ногу на брусок и стремительно подбросить себя вперед-вверх. В момент отталкивания важно как можно быстрее пройти вперед через опорную ногу, направляя грудь и плечи вверх.

После отталкивания прыгун переходит в фазу полета. Ее можно разделить на три части: взлет, собственно полет с движениями, соответствующими одному из трех способов прыжка, и подготовка к приземлению.

Прыжок способом «согнувшись» наиболее прост и естествен (рис. 105). Так прыгали в начале века, так прыгают

и сегодня новички. Однако этот простой и доступный способ имеет серьезный недостаток: сгибая ноги в полете и наклоняясь к ним, прыгун уменьшает радиус инерции своего тела.

Вопрос для самоконтроля знаний

Почему уменьшается момент инерции тела, когда прыгун в полете сгибает ноги и наклоняется к ним? К каким последствиям это может привести?

В 30-х годах появился способ «прогнувшись», или, как его тогда называли по имени финского прыгуна, «Туулос». После взлета прыгун опускает маховую ногу, присоединяя ее к толчковой. Обе ноги оказываются несколько позади туловища, прыгун прогибается в поясничном и грудном отделах позвоночника, полусогнутые руки быстро отводятся в стороны-назад. В первой половине полета прыгун сохраняет положение прогнувшись. К моменту приземления тело сгибается, туловище наклоняется вперед, быстро выносятся вперед ноги, а руки возвращаются в исходное положение. Недостаток способа «прогнувшись» в том, что прыгун начинает прогибаться еще при отталкивании, снижая тем самым дальность прыжка.

Для обоих рассмотренных способов прыжка характерен резкий переход от одних движений к другим при группировке или прогибе. Поэтому позднее стали отдавать предпочтение прыжку способом «ножницы», где ноги совершают в полете такие движения, как и при беге, делая два с половиной или три с половиной шага. Все движения в таком прыжке естественно следуют одно за другим, и координация движений при разбеге не нарушается.

Оптимизируя двигательную деятельность при прыжке в длину, необходимо увеличивать скорость вылета и правильно выбирать угол вылета. И то и другое осуществляется исходя из тех же закономерностей, что и при метаниях.

Скорость спортсмена в момент окончания отталкивания — наиболее важная из характеристик, определяющих дальность прыжка. Она зависит от скорости, развиваемой спортсменом при разбеге, и потерь скорости, связанных с необходимостью точно попасть толчковой ногой на брусок отталкивания. Таким образом, оптимизация разбега заключается в нахождении компромисса между скоростью и точностью. Поиск такого компромисса осложняется весьма значительными величинами силы действия прыгуна на брусок отталкивания, достигающей нескольких тысяч ньютонов (см. рис. 105).

В последние 3—4 шага перед отталкиванием спортсмен приводит туловище в положение, близкое к вертикальному, и снижает высоту общего центра масс тела. Эти изменения положения тела сопровождаются удлинением предпоследнего шага и соответствующим укорочением последнего.

Назначение отталкивания — сообщить телу вертикальную скорость, сохраняя как можно большую горизонтальную скорость. Здесь спортсмен также встречается с противоречием, разрешение которого суть одна из задач оптимизации. У современных прыгунов экстра-класса при скорости разбега свыше 10 м/с время отталкивания составляет 0,11—0,13 с, а угол отталкивания 19—25°, что много меньше оптимального при метаниях (45°).

Вопрос для самоконтроля знаний

Чем объясняется тот факт, что оптимальный угол вылета при прыжке в длину значительно меньше, чем при метаниях?

Дистанция приземления (расстояние от проекции общего центра масс тела до точки касания грунта в момент приземления) невелика и составляет около 8% от длины прыжка (см. рис. 105). Тем не менее спортсмен должен стараться в момент приземления выставить стопы как можно дальше от центра масс.

Контрольные вопросы

1. Величины каких биомеханических характеристик в первую очередь влияют на дальность метания?
2. Объясните, что дает последовательное вовлечение в процесс метания проксимальных и дистальных звеньев тела.
3. Из каких двигательных действий состоит метание гранаты?
4. Из каких двигательных действий состоит прыжок в высоту?
5. В каких фазах прыжка тело прыгуна в высоту имеет минимальную и максимальную величину кинетической и потенциальной энергии?
6. Каковы величины силы действия на опору при выполнении прыжков в высоту и длину?
7. Назовите наиболее рациональные способы выполнения прыжка в высоту и длину. Поясните свою точку зрения.
8. За счет каких сил создается вертикальная составляющая силы взаимодействия с опорой в фазе отталкивания?

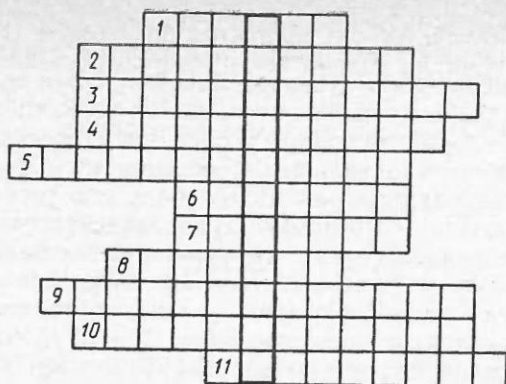


Рис. 106. Чайнворд.

1, 4, 10. Фазы прыжка. 2. Способ прыжка в высоту. 3. График изменения силы во времени. 5, 9. Виды механической энергии. 6. Обозначение ноги, противоположной толчковой (в прыжках). 7. Метательный снаряд. 8. Вид переместительных действий. 11. Критерий оптимальности техники метания. Если вы правильно отгадаете значения слов, зашифрованных по горизонтали, то в выделенной колонке по вертикали получите название практически полезной и быстро прогрессирующей отрасли знания.

— при прыжке в высоту;

— при прыжке в длину?

9. Какие факторы, кроме скорости разбега, влияют на дальность прыжка?

10. Решите чайнворд (рис. 106).

ГЛАВА 11. БИОМЕХАНИКА ТЕХНИКО-ЭСТЕТИЧЕСКИХ ВИДОВ СПОРТА

Все ораторы молчат, когда говорит красота.

Шекспир

Функциональное — прекрасно!

Спортивная и художественная гимнастика, фигурное катание, прыжки в воду, синхронное плавание и другие технико-эстетические, или «артистические», виды спорта отличаются двумя особенностями: чрезвычайным разнообразием технических элементов и своеобразным подходом к

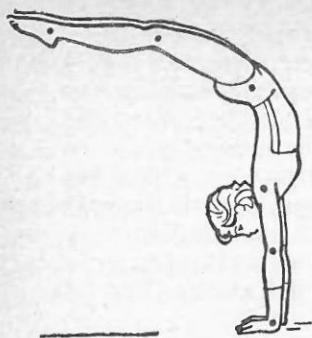


Рис. 107. Гимнастка с суставами, маркированными для биомеханического анализа, выполняющая стойку на руках на стабилографической платформе

оценке мастерства, которое определяется судьями, наблюдающими за соревновательной деятельностью спортсменов. По существу, оценивается кинематика (внешняя картина) двигательной деятельности, а динамика и энергетика играют второстепенную роль. Важное место в оценивании занимает представление об эстетическом идеале, изменяющемся со временем.

Эстетичность двигательной деятельности определяется многими факторами, в том числе специфическими (неожиданность, оригинальность, соответствие «школе» и т. п.) и общебиологическими (экономичность, точность). Например, как красивое воспринимается такое выполнение равновесия, при котором не совершается лишних движений, а поза выбрана так, чтобы минимизировать активность мышц-антагонистов и, следовательно, затраты энергии на поддержание позы. При соблюдении этих условий даже самые сложные варианты упражнений на равновесие выполняются внешне легко, как бы без особых усилий и воспринимаются как красивые (рис. 107).

ЭСТЕТИЧЕСКИЙ ИДЕАЛ И ЕГО ЭВОЛЮЦИЯ

Эстетический идеал — это образец, соответствующий общепринятому в данный период времени представлению о красивом. В том, что касается форм и движений человеческого тела, в настоящее время завершается возвращение к эстетическим идеалам античности. Прекрасно все, что в полной мере соответствует своему назначению. И потому во внешнем облике и двигательной деятельности человека ценится все, что свидетельствует о физическом и психическом здоровье и ему способствует. Но так было не всегда.

Единственным доступным для нас способом проследить за эволюцией эстетического идеала является изучение произведений искусства, запечатлевших внешность людей минувших эпох (см. форзац). Такой экскурс позволяет лучше понять современные эталоны красоты.

Более пяти тысячелетий отделяют от нас время, когда были созданы первые из сохранившихся скульптурных портретов Древнего Египта. Для них характерны грубая сила и телесная мощь. Фараоны и знать древнего царства были воинами, завоевателями, и физическая сила была им необходима.

Подчиненность эстетического идеала соображениям целесообразности, тесно связанным с условиями жизни и устремлениями людей, становится еще очевиднее, если сопоставить изображения нагого тела в шедеврах античного искусства, средних веков и эпохи Возрождения.

В древнегреческой скульптуре запечатлены образцы телосложения победителей Олимпийский игр и военных сражений. Гармонически развитые, мускулистые тела свидетельствуют о крепком здоровье и физической мощи. Древние греки верили в то, что боги Олимпа покровительствуют тем людям, кто развивает свое тело, делая его сильным и изящным. Представление о физическом совершенстве как важнейшем достоинстве человека отвечало и условиям жизни в ту эпоху: граждане Древней Греции были мореплавателями, воинами, охотниками, пахарями.

Женские образы античного искусства столь же прекрасны и целесообразны. Они, говоря современным языком, были готовы к труду и обороне. И не случайно женщины-воительницы встречаются на страницах истории Спарты и Афин. Телосложение молодых эллинок было хорошо приспособлено для продолжения рода.

Известно, что рождение ребенка у человека протекает труднее, чем у животных. Объясняется это тем, что при вертикальном положении тела сближенные головки бедренных костей облегчают выносливую ходьбу и быстрый бег. Но, поскольку плод имеет непропорционально большую голову, процесс рождения ребенка требует широкого таза с раздвинутыми бедренными суставами. В ходе эволюции это противоречие усугубилось: увеличение размеров мозга, а значит, и головы плода требовало расширения таза матери, а вертикальная походка — его сужения. Такое несоответствие частично разрешается тем, что при родах череп ребенка сдавливается тем меньше, чем шире бедра у матери. Античное искусство отразило целесообразность про-

порций женского тела для продолжения рода. Это качество слилось с эротическим восприятием подруги, которая сильна, может выносить ребенка и не будет покалечена при первых же родах. Сравнительно тонкая талия — анатомическая компенсация широких бедер, обеспечивающая подвижность и гибкость тела.

Физическая мощь особенно ценилась в странах с суровыми климатическими условиями, где жизненно необходима мышечная сила и выносливость. Не случайно в изобразительном искусстве разных стран и народов мы встречаем образы богатырей — воинов и тружеников. Богато ими искусство народов нашей страны.

Как видим, на всем протяжении истории человечества представление о телесной красоте тесно увязано с соображениями практической пользы.

Лишь в пору средневековья забота о телесном совершенстве считалась делом греховным. Религия проповедовала аскетизм, умерщвление плоти, а теоретики-богословы утверждали, что физические упражнения суть «исчадие ада и беснование еретиков». В XII в. в Макленбурге несколько человек были сожжены на костре за то, что они «поступили безбожно и бесчестно, плавая в прудах на глазах толпы». И даже в XVI—XVIII вв. в России один из законов запрещал «столь опасное развлечение, как катание на коньках»¹. Особый вред здоровью приносило ношение корсетов (рис. 108) и другие традиции, идущие вразрез с естественной жизнедеятельностью человеческого организма (например, высокие каблуки).

Постепенное возвращение к эстетическим идеалам античности началось в эпоху Возрождения и завершается в наши дни.

Современный идеал телесной красоты ярче всего воплощен в облике спортсменов и артистов балета. Систематические тренировки сделали их мускулистыми, стройными. Внешняя привлекательность сочетается с высокими объективными показателями двигательных качеств (выносливостью, силой, быстротой, ловкостью, гибкостью). Поэтому к двигательной деятельности мастеров спорта и балета обращаются в том случае, когда хотят выявить эталоны красоты движений. Говоря словами Ле Корбюзье, здесь вступают в действие математические способности нашего разума: наслаждаясь зрелищем, мы одновременно находим в нём отражение законов мироздания.

¹ Цит. по: Голубев А. Формула красоты.— М., 1968.— С. 48.

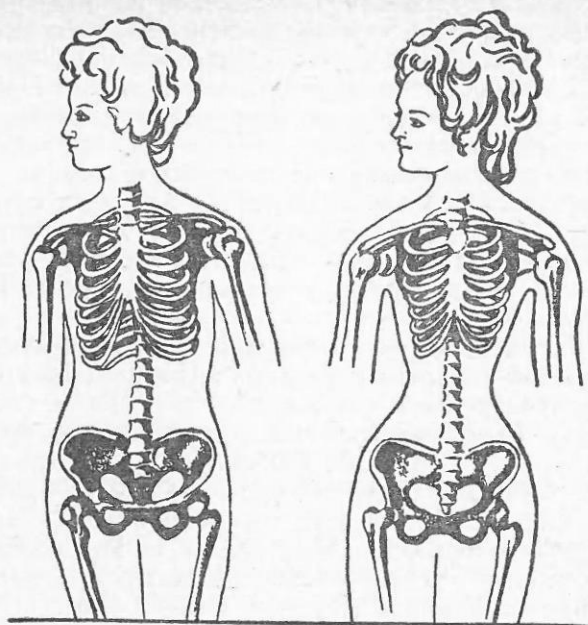


Рис. 108. Последствия длительного ношения корсета; скелет женщины: *слева* — не носившей корсет; *справа* — носившей корсет

Красота движений привлекательнее, чем красота статичных форм. Этому обязаны своим существованием и балетное искусство, и артистические виды спорта. Красивы движения опытного лесоруба, косаря, монтажника, хотя эстетичность не относится к числу критериев оптимальности их деятельности. На протяжении всей соревновательной дистанции красивы движения мастера спорта — бегуна, конькобежца, лыжника, хотя иногда их внешний облик на финише гонки бывает далек от изящества.

Возникает вопрос: что в этих случаях лежит в основе наших эстетических оценок? Видимо, можно ответить так. Подобно тому как неразрывно связаны между собой здоровье и внешний облик человека, красота его движений свидетельствует о физическом и психическом здоровье, а также о высокой квалификации в данном виде двигательной деятельности. **Здоровье и красота движений образуют неразрывное двуединство: здоровье — залог красоты, а привычка двигаться правильно, красиво — одно из условий физического совершенства и долголетия.**

БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В АРТИСТИЧЕСКИХ ВИДАХ СПОРТА

Известно, что все виды двигательной деятельности делятся на пять групп: равновесия, движения на месте, переместительные действия, локомоции и движения вокруг осей. Равновесия на первый взгляд кажутся самыми простыми из них. Но такое впечатление неверно, ибо даже в сохранении вертикального положения тела и поддержании правильной осанки принимает участие более 300 мышц одновременно. Это сложный двигательный акт. Из литературы известно, что солдаты царской армии падали в обморок, когда их заставляли часами стоять неподвижно по стойке «смирно».

Общепринятые каноны правильной осанки обусловлены медицински и биомеханически. Это те позы, которые обеспечивают наилучшие условия для функционирования внутренних органов, равномерного распределения механической нагрузки на части скелета, а также минимальные энергозатраты на поддержание равновесия.

Навык правильной осанки можно тренировать. Об этом свидетельствует многовековой опыт хореографии, спорта и военного дела. Например, предлагается такое упражнение. Представьте себе, что к середине вашей груди прикреплен туго натянутый трос. Он тянет вас вперед и несколько вверх, под углом 45°. Стоит только представить себе это, как ваша грудь расширяется, плечи расправляются, спина делается прямой. Это — одно из десятков полезных упражнений, которые можно делать не только при ходьбе, но и стоя, и сидя. Подобные упражнения можно совмещать с текущими делами и тем самым экономить время.

В артистических видах спорта изящно и грациозно должны выполняться сложные упражнения, требующие высокой гибкости и хорошо (но не чрезмерно) развитой мускулатуры. Исполнение оценивается тем выше, чем больше амплитуда движений (рис. 109), чем менее заметны колебательные движения тела и усилия, которых стоит спортсмену удерживать равновесия. Здесь помогают не только упражнения, совершенствующие вестибулярный аппарат, гибкость и силовые качества, но и «маленькие хитрости» — свои в каждом виде спорта. Например, при выполнении гимнастических упражнений на бревне — выворотная постановка стопы и захват боковых поверхностей бревна пальцами.

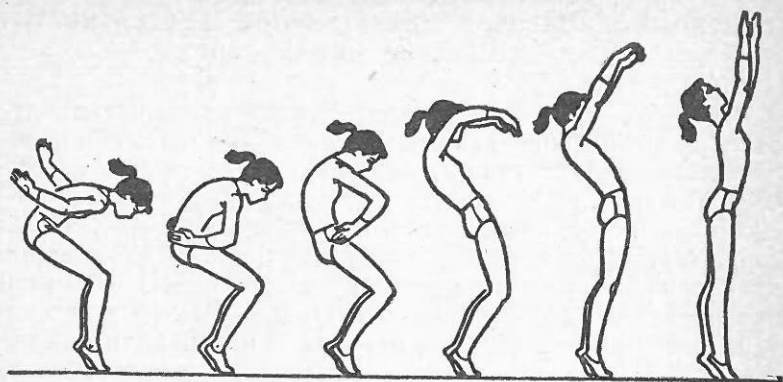


Рис. 109. Гимнастическое упражнение «волна вперед» (по Т. С. Лисицкой)

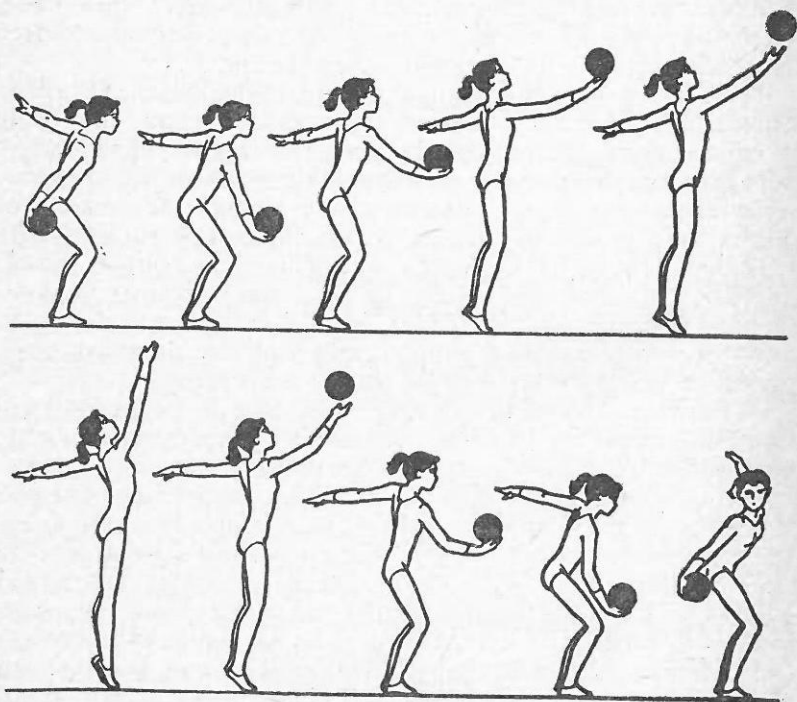


Рис. 110. Бросок (вверх) и ловля мяча одной рукой (по Т. С. Лисицкой)

Каковы условия равновесия тела? Приведите примеры.

Движения на месте в соревнованиях по технико-эстетическим видам спорта встречаются не часто. Но зато они широко применяются в силовой и хореографической подготовке. Двигательные действия на месте являются базовыми упражнениями, частью «школы движений». Поэтому техника их исполнения должна быть доведена до совершенства. Повышению оценки способствует все, что свидетельствует об «алертности»¹: высокая амплитуда движений (требующая гибкости в суставах и мышечной силы), оттянутые носки и правильная осанка, а также внешняя легкость и раскрепощенность (но без лишних движений, снижающих экономичность).

Переместительные действия выполняются в упражнениях с предметами в художественной гимнастике. В отличие от метаний здесь не стремятся к дальности. Упражнение не заканчивается, когда обруч, булава или мяч отделяются от руки спортсменки. За периодом метания следует период ловли предмета, состоящий из фазы подготовки к ловле и фазы ловли (рис. 110). Здесь требуется ловкость (точность быстрых движений).

Локомоции артистических видов спорта имеют свои особенности. Так, ходьба в гимнастике (например, при выходе к снаряду) отличается легкостью и плавностью, внутрицикловые колебания скорости в ней сведены до минимума. Стройность тела подчеркивается осанкой: спина прямая, лопатки соединены, голова приподнята.

Бег в гимнастике имеет две разновидности: гимнастический бег и разбег. Цель разбега — достижение оптимальной (необязательно максимальной!) скорости для выполнения последующего технического элемента, например прыжка.

Гимнастический бег оптимизируется по эстетичности. Как и в хореографии, он сопровождается различными движениями рук, головы и туловища. Тем самым становится возможным средствами пластики передать разнообразные оттенки настроения и чувств. Хотя, разумеется, еще нет строгого научного объяснения тому эмоциональному воздействию, которое оказывают на человека двигательные действия артистов балета, фигуристов и т. п.

Движения вокруг осей, выполняемые в технико-эстетических видах спорта, весьма зрелищны уже пото-

¹ От французского *alerte* — быстрый, легкий в движениях.

му, что демонстрируют возможности человека, выходящие за рамки привычных, обыденных. Без многолетней тренировки не выполнить многооборотовый прыжок в фигурном катании, сложные вращения при соскоке с перекладины или прыжках в воду и т. д. Освоению подобных упражнений помогает знание их биомеханических закономерностей.

Известно (см. в главе 4), что приращение угловой скорости ($\Delta\omega$) определяется следующим соотношением:

$$\Delta\omega = \frac{M\Delta t}{mR_{\text{ин}}^2},$$

где $M\Delta t$ — импульс момента силы, действующей на вращающееся тело; m — масса; $R_{\text{ин}}$ — радиус инерции.

Задание: докажите, что приведенная формула верна. Начните с того, что вспомните, как взаимосвязаны момент силы, момент инерции и угловое ускорение.

Из этой формулы следует, что существуют два принципиально различных способа управления вращениями.

Первый способ — при отсутствии внешних сил, за счет изменения момента инерции. Поскольку масса тела постоянна, этот способ сводится к изменению радиуса инерции, например при группировке или, наоборот, при выходе из нее (рис. 111). Здесь действует закон сохранения кинетического момента, согласно которому кинетический момент ($J\omega$) тела остается неизменным, если сумма моментов внешних сил, приложенных к телу, равна нулю. При изменении радиуса инерции меняется момент инерции (J). И по-

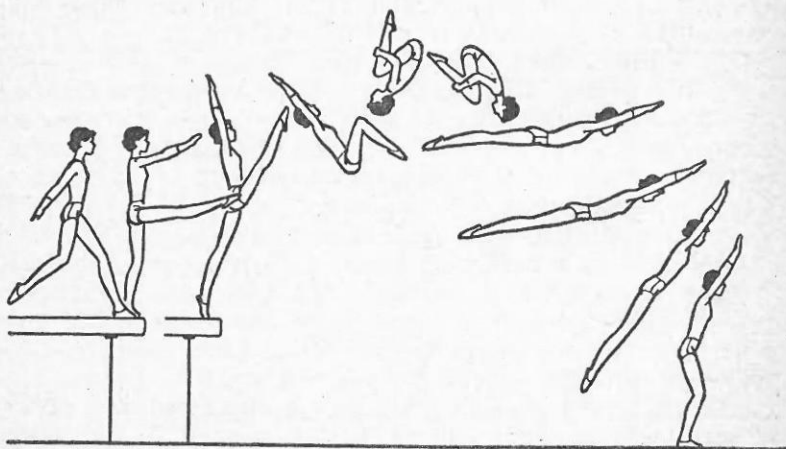


Рис. 111. Группировка при выполнении еальто (по George)

сколькx произведение $J\omega$ постоянно, изменяется угловая скорость (ω).

Вопрос

Увеличивается или уменьшается угловая скорость при группировке?

Второй способ управления вращательным движением — за счет импульса момента силы. Причем импульс силы может создаваться как при отталкивании от опоры, так и в безопорном положении. Например, парашютист в свободном полете может менять позу, используя силу сопротивления воздуха.

Подведем итог сказанному о биомеханике артистических видов спорта. В них на первый план выступает критерий эстетичности. Ему удовлетворяют те двигательные действия, которые:

1) отличаются экономичностью, точностью и хорошо освоены, что позволяет выполнять их без лишних затрат энергии;

2) соответствуют существующему в настоящее время представлению об эстетическом идеале.

Для выполнения этих условий требуется разносторонняя физическая подготовленность, которая, естественно, сочетается с крепким здоровьем. Таким образом, здоровье и двигательное мастерство здесь слиты воедино.

Контрольные вопросы

1. Как оценивается эффективность двигательной деятельности в артистических видах спорта?

2. Что такое эстетический идеал?

3. Как и почему эстетический идеал менялся в истории человечества?

4. Почему красота движений и здоровье человека тесно взаимосвязаны?

5. Какие биомеханические характеристики выполняемого упражнения могут быть зарегистрированы, если учесть, что спортсменка (см. рис. 107) стоит на стабилографической платформе и суставы ее маркированы?

6. Что способствует повышению оценки за выполнение равновесий и движений на месте и как это связано с современными представлениями об эстетическом идеале?

7. Каковы биомеханические особенности переместительных действий в артистических видах спорта?

8. Каковы биомеханические особенности локомоций в гимнастике и других артистических видах спорта?

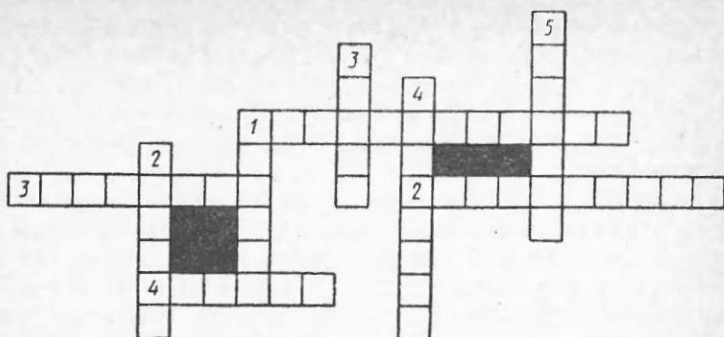


Рис. 112. Кроссворд.

По горизонтали. 1. Качество, определяющее успех в фигурном катании, художественной гимнастике и некоторых других видах спорта. 2. Вид атлетической гимнастики. 3. Двигательное качество, оцениваемое по внешней картине двигательной деятельности. 4. Манера держать себя в неподвижном состоянии и при движениях.

По вертикали. 1. Образец правильного выполнения упражнения. 2. Широко распространенный технический элемент, эстетичность исполнения которого принято оценивать в фигурном катании и художественной гимнастике. 3. Общепринятое представление о прекрасном. 4. Физическое качество, характеризующее подвижность в суставах. 5. Эстетичность.

9. Какие способы управления вращательными движениями вам известны?

10. Решите кроссворд (рис. 112).

ГЛАВА 12. БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЩЕРАЗВИВАЮЩИХ УПРАЖНЕНИЙ

Предназначение человека на земле — создать справедливое общество. Общество коммунистическое. Сохранить природу и жизнь нашей планеты. Способны будут к этому только люди с высокоразвитым чувством коллективизма и гражданственности. Я за физкультуру, которая воспитывает эти качества... За комплекс ГТО, который готовит молодых людей к труду во имя процветания Родины и к защите ее рубежей.

Академик Ф. Г. Углов

*Salus populi suprema lex!*¹

К общеразвивающим относятся простые физические упражнения, оказывающие воздействие как на организм в

¹ Благо народа да будет высшим законом! (лат.).

целом, так и на отдельные группы мышц и суставов. Общеразвивающих упражнений очень много. Мы рассмотрим только те, которые наиболее часто используются. Кроме того, глава знакомит с биомеханическими основами стрельбы и туризма.

ОБЩЕРАЗВИВАЮЩИЕ ГИМНАСТИЧЕСКИЕ УПРАЖНЕНИЯ

Сдавая нормы комплекса ГТО, мужчины выполняют подтягивание на высокой перекладине, а женщины — поднимание туловища из положения лежа на спине. Кроме того, в требования к недельному двигательному режиму включены подтягивания на низкой перекладине (для женщин), отжимания, приседания, наклоны вперед, поднимание прямых ног из положения лежа на спине и прыжки со скакалкой. Все эти упражнения носят циклический характер и состоят из четырех фаз: приближение к опоре, пауза вблизи опоры, удаление от опоры и пауза в исходном положении.

При выполнении рассматриваемых здесь упражнений график изменения силы во времени (динамограмма), регистрируемый с помощью динамографической платформы (при нижней опоре) или тензометрированной перекладины (при верхней опоре), содержит два компонента. Первый из них — вес тела (равный силе тяжести). Второй компонент — сила инерции, которая равна произведению массы тела на ускорение общего центра масс и направлена противоположно ускорению. Одновременным воздействием обеих сил на опору объясняется характерная форма динамограммы.

При верхней опоре, например при подтягиваниях, сила действия на опору (рис. 113):

- в начале движения вверх увеличивается (сила инерции ускоряемого тела направлена вниз и суммируется с силой тяжести);

- в конце движения вверх уменьшается (сила инерции тормозимого тела направлена вверх и вычитается из силы тяжести);

- в начале движения вниз уменьшается (сила инерции ускоряемого тела направлена вверх);

- в конце движения вниз увеличивается (сила инерции тормозимого тела направлена вниз).

При нижней опоре (во время приседаний, отжиманий, наклонов) динамограмма представляет собой зеркальное отображение динамограммы при верхней опоре (рис. 114).

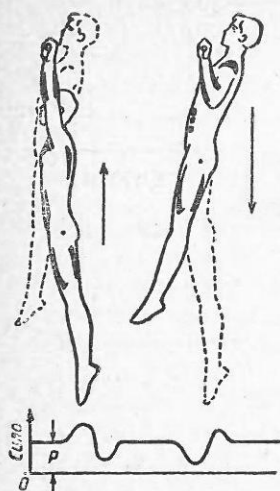


Рис. 113. Подтягивание на перекладине: *вверху* — топография работающих мышц и граничные позы; *внизу* — динамограмма подтягивания

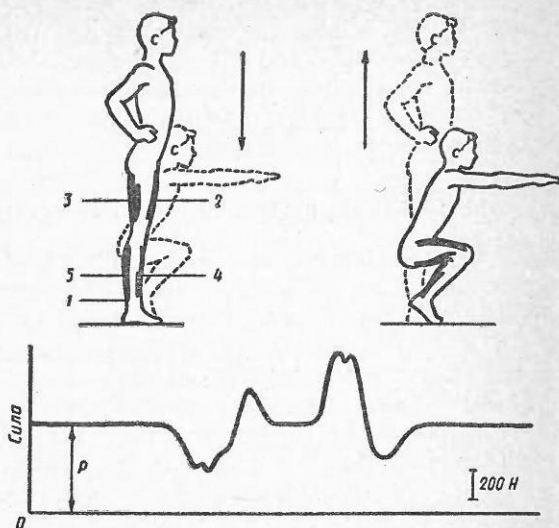


Рис. 114. Приседания: *вверху* — граничные позы и наиболее активные мышцы ног:

1 — камбаловидная м.; 2 — четырехглавая м. бедра; 3 — двухглавая м. бедра; 4 — передняя большеберцовая м.; 5 — икроножная м.; P — вес тела

Вопросы для самоконтроля знаний

1. Почему динамограмма приседания (а также отжимания, наклонов и т. д.) отличается от динамограммы подтягивания?

2. Почему динамограмма приседания имеет несколько более сложную форму, чем динамограмма подтягивания?

Поскольку на быстрый разгон и на быстрое торможение тела затрачивается значительная энергия, выгоднее выполнять упражнения плавно.

При выполнении рассматриваемых упражнений наряду с вертикальными возникают значительные горизонтальные ускорения, которые могут привести к потере равновесия.

Известно, что тело находится в равновесии до тех пор, пока вертикальная проекция общего центра масс не выйдет за пределы площади опоры. Например, при приседаниях и наклонах перпендикуляр, опущенный из общего центра масс, не должен выходить за пределы площади, ограниченной ступнями. Отсюда понятно, что при приседаниях на всю ступню (а не на носки) и широко расставленных но-

гах легче удерживать тело в равновесии. Поэтому каждый может произвольно регулировать сложность этого упражнения: на тренировках усложнять, а при сдаче нормативов использовать оптимальную позу.

Дети, движения которых еще недостаточно координированны, а также нетренированные взрослые при выполнении приседаний и наклонов часто теряют равновесие. Удержать тело в равновесии помогают компенсаторные движения. Например, на рис. 115 показаны компенсаторные движения, выполняемые при наклонах вперед с прямыми ногами. Смысл их в том, что по мере выполнения наклона прямые ноги и таз отклоняются назад, благодаря чему вертикальная проекция общего центра масс на протяжении всего упражнения не выходит за пределы площади опоры.

Другой механизм компенсаторных движений основан на законе сохранения кинетического момента (см. в главе 11) и аналогичном ему (но относящемся к поступательному движению) законе сохранения количества движения. На-

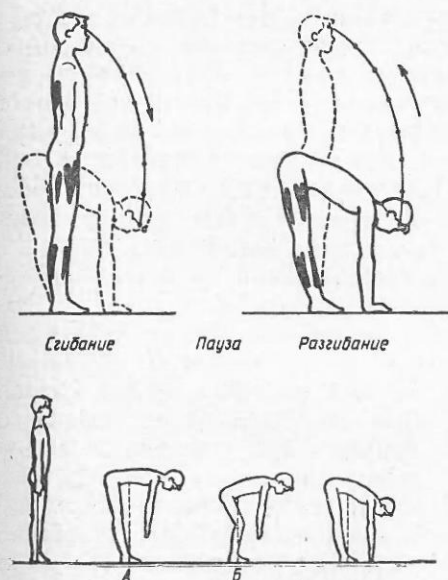


Рис. 115. Кинематика наклонов вперед с прямыми ногами и топография работающих мышц: точки — циклограмма центра масс головы; внизу — правильные А и неправильные Б компенсаторные движения при выполнении наклона

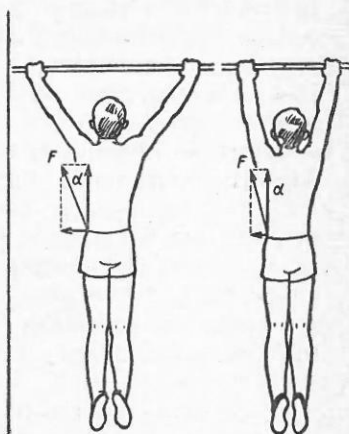


Рис. 116. Неправильное (слева) и правильное положение рук при подтягивании на перекладине (по Е. Г. Котельниковой); $F \cos \alpha$ — полезная составляющая проявляемой силы

пример, падая вперед, человек может резко выбросить вперед руки, в результате чего его туловище отклонится назад и равновесие будет восстановлено.

Задание для самоконтроля знаний

Приведите несколько примеров, иллюстрирующих действие закона сохранения количества движения и закона сохранения кинетического момента. Один из таких примеров — отдача оружия при выстреле.

Устойчивое положение тела выгодно с энергетической точки зрения. В этом положении момент силы тяжести тела равен нулю, и нет необходимости компенсировать его мышечными усилиями. Поэтому нежелательны любые движения, которые при выполнении упражнений отклоняют тело от положения равновесия (например, раскачивания при подтягивании).

Выполнение разных общеразвивающих упражнений требует неодинаковых энергозатрат. Это зависит от массы перемещаемых частей тела и величины вертикальных перемещений, а также от того, в какой мере удастся использовать рекуперацию энергии и другие механизмы экономизации движений. В. А. Заикин и его ученики экспериментально определили энергетическую стоимость одного цикла общеразвивающих гимнастических упражнений и получили следующие цифры: подтягивание на высокой перекладине 3,0 Дж, приседание 1,5 Дж, отжимание 1,4 Дж, поднимание и опускание ног лежа на спине 1,0 Дж, наклоны вперед 1,0 Дж, прыжки со скакалкой 0,4 Дж.

Своеобразие каждого из упражнений не ограничивается разной энергетической стоимостью. Неодинакова топография работающих мышц. Различны и рекомендации для выбора оптимальных режимов их выполнения.

Подтягивание на перекладине используются для контроля и развития мышечной силы, и прежде всего силы рук. Чтобы сдать нормы ГТО, ученики должны подтянуться на высокой перекладине от 2 до 12 раз (в зависимости от возраста), а ученицы I—VI классов — от 8 до 19 раз на низкой перекладине. Но это далеко не предел. Тренированным атлетам удастся без отдыха подтянуться несколько десятков раз. Среди неофициальных спортивных рекордов есть и такой: в 1940 г. американец Г. Роджел при массе тела 49 кг три раза подтянулся на одной руке, держа в другой руке гантель весом 22,5 кг.

Каждый цикл подтягивания на перекладине состоит из

виса на вытянутых руках хватом сверху (исходное положение), подъема, виса на согнутых руках и опускания. Голова держится прямо, ноги вытянуты, носки оттянуты.

Вис на выпрямленных руках выполняется в основном за счет мышц верхних конечностей и пояса верхней конечности, а также спины и живота (см. рис. 113).

Подъем производится с помощью сгибания в локтевых и разгибания в плечевых суставах. Наиболее высока активность двуглавой мышцы плеча, а также широчайшей мышцы спины и трехглавой мышцы плеча.

Вис на согнутых руках также обеспечивается напряжением названных мышц. При подтягивании тело человека, если смотреть на него в профиль, переходит из вертикального положения в наклонное. Это закономерно, поскольку при верхней опоре тело находится в устойчивом положении, когда общий центр масс не отклоняется от вертикальной проекции опоры. Подъем на перекладине сопряжен со смещением верхней части туловища, что сопровождается компенсаторным перемещением вперед ног и таза.

Подтягивание на низкой перекладине из виса лежа — значительно более легкое упражнение, чем подтягивание на высокой перекладине, поскольку здесь вес тела распределен между верхней и нижней опорами. Именно поэтому такое упражнение выполняют девочки. Его же полезно применять как подготовительное, если сила рук недостаточна для подтягивания на высокой перекладине.

Мышцы, наиболее активные при подтягивании на низкой перекладине, показаны на рис. 4.

Будучи весьма энергоемким упражнением, подтягивание должно выполняться с соблюдением правил экономизации движений. В положении виса наиболее рациональным является хват на ширине плеч. Если кисти располагаются ближе друг к другу, то равновесие становится менее устойчивым. Если же они расставлены слишком широко, то для фиксации лопаток требуется большая, чем в оптимальной позе, сила мышц, приближающих лопатки к позвоночному столбу (рис. 116).

Сгибание и разгибание рук в упоре выполняется лежа на полу (лицами мужского пола в возрасте от 7 до 39 лет) и в упоре на гимнастической скамейке или на стуле (мужчинами старшего возраста и лицами женского пола). В отличие от упражнений на кольцах, брусьях и т. д. здесь высока степень устойчивости тела ввиду значительной площади опоры (рис. 117).

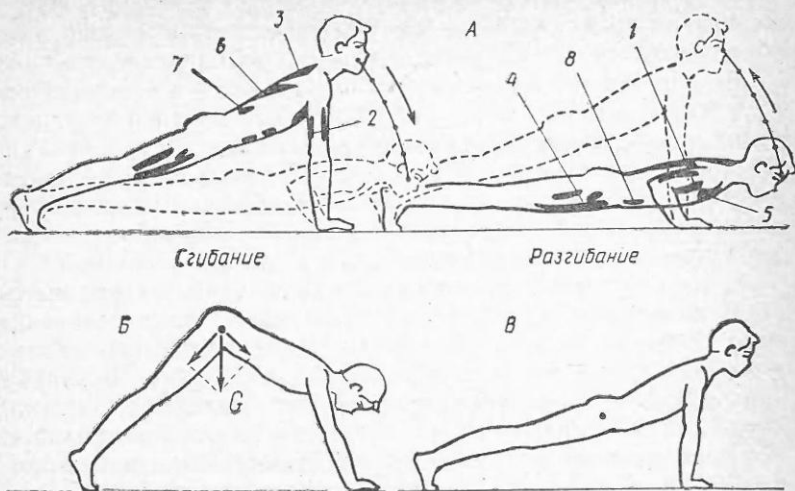


Рис. 117. Сгибание и разгибание рук в упоре лежа:

А — топография работающих мышц и граничные позы: 1 — двухглавая м. плеча; 2 — трехглавая м. плеча; 3 — трапецевидная м.; 4 — четырехглавая м. бедра; 5 — большая грудная м.; 6 — широчайшая м. спины; 7 — м., выпрямляющие позвоночник; 8 — прямая м. живота; Б и В — положение тела при двух вариантах неправильного выполнения упражнения; G — сила тяжести

Вопрос: чему равна (приблизительно) площадь опоры при сгибании и разгибании рук в упоре лежа?

Наиболее сильно напрягаются трехглавые мышцы плеча, прямые мышцы живота, мышцы пояса верхних конечностей, разгибатели плечевого сустава, разгибатели голени (см. рис. 117).

При перемещении тела вниз под действием силы тяжести происходит разгибание в плечевых суставах, сгибание в локтевых и лучезапястных суставах. При этом сгибатели плеча и разгибатели предплечья выполняют уступающую работу. С увеличением высоты упора (при использовании гимнастической скамейки или стула) моменты силы тяжести и величины противодействующих сил, развиваемых мышцами, уменьшаются.

При упоре на согнутых руках сохраняется высокая активность четырехглавых мышц бедра, широчайших мышц спины, прямых мышц живота, больших грудных мышц.

В фазе подъема наибольшая нагрузка падает на трехглавые мышцы плеча. Они работают в преодолевающем режиме. Особенно велика активность больших грудных мышц.

На рис. 117 показаны также два широко распространенных ошибочных варианта. В первом из них (рис. 117, Б) упражнение облегчается, поскольку сила тяжести меньше действует «на прогиб», раскладываясь на составляющие, которые сжимают «опорные конструкции» скелета в продольном направлении. Подобные арочные конструкции с аналогичными целями широко применяются в архитектуре и строительстве. Еще в Древнем Риме арочные системы использовались при возведении каменных мостов.

Второй ошибочный вариант (рис. 117, В) связан с недостаточным напряжением (или недостаточной развитостью) прямых мышц живота. Принимая такую позу, человек неосознанно стремится облегчить себе выполнение упражнения, поскольку опущенное положение нижней части тела уменьшает вертикальные перемещения о. ц. м. и, следовательно, механическую работу.

В некоторых случаях позы Б и В полезны как подготовительные. Первая из них используется акробатами при освоении стойки на руках, а вторая рекомендуется женщинам. При недостаточно развитой мускулатуре девушкам и женщинам полезно выполнять сгибание рук в упоре лежа с опорой на колени.

Задание для самоконтроля и закрепления знаний

Нарисуйте вертикальную составляющую динамограммы, которую можно зарегистрировать при выполнении отжиманий, если руки опираются на динамографическую платформу.

Приседания выполняются из основной стойки (руки на поясе) и включают четыре фазы: собственно приседание, паузу в приседе (на носках, руки вперед), выпрямление и паузу в основной стойке (см. рис. 114). На протяжении всего упражнения (кроме основной стойки) наибольшую активность проявляет камбаловидная мышца.

Некоторые мышцы работают в изометрическом (удерживающем режиме). В их числе мышцы, фиксирующие голову и пояс верхних конечностей, и разгибатели позвоночного столба. Топография работающих мышц при приседаниях такова, что это упражнение весьма полезно не только тем, кому нужно увеличить силу ног, но и тем, кто хочет научиться красиво ходить.

Рекорды, установленные в приседаниях, впечатляют. Еще в 1899 г. в Вене М. Дантаг присел 6 тыс. раз в течение 3 ч. А П. Андерсон по прозвищу «Подъемный кран» выполнял приседания с грузом, превышающим 500 кг.

Задание

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

Прыжки со скакалкой. Техника прыжков со скакалкой существенно отличается от техники обычного вертикального прыжка. При прыжках со скакалкой ноги в коленных суставах почти не сгибаются и, стало быть, подпрыгивание осуществляется при незначительном напряжении мощных мышц бедра. Наиболее активны мышцы-разгибатели стопы. Этим объясняется сравнительно невысокая энергетическая стоимость упражнения.

Мировой рекорд в прыжках со скакалкой (50 180 прыжков за 6 ч) установил 35-летний мужчина с максимальным потреблением кислорода $62,0 \frac{\text{мл}}{\text{мин} \cdot \text{кг}}$. За это время он потерял в весе 3 кг (4,6% от массы тела). В конце упражнения температура тела у него достигла 39,3°. Интересно, что аналогичная потеря веса и нагревание тела имеют место при марафонском беге (42 км 195 м).

СТРЕЛЬБА

В объем техники стрельбы входят: изготовка, наведение оружия в цель, прицеливание и обработка ударно-спускового механизма. В соответствии с правилами комплекса ГТО здесь рассматривается только техника стрельбы из положения лежа.

Изготовка¹ — это положение тела и его частей, которое стрелок принимает для удержания направленного в цель оружия при стрельбе. Изготовку для стрельбы из положения лежа характеризуют следующие показатели: угол разворота туловища по отношению к направлению стрельбы, положение левой руки, положение правой руки, положение ног, положение головы.

Угол разворота туловища к направлению стрельбы находится в пределах от 15 до 30° (рис. 118).

Левая рука, воспринимающая всю тяжесть винтовки, должна быть согнута в локтевом суставе, а кисть вынесена

¹ Используется терминология, принятая в стрелковом спорте. Мы будем называть изготовкой и процесс приведения частей тела в исходное положение для стрельбы.

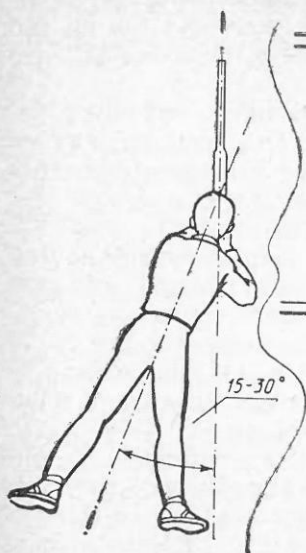


Рис. 118. Положение тела при изготовке для стрельбы лежа (по А. А. Юрьеву)

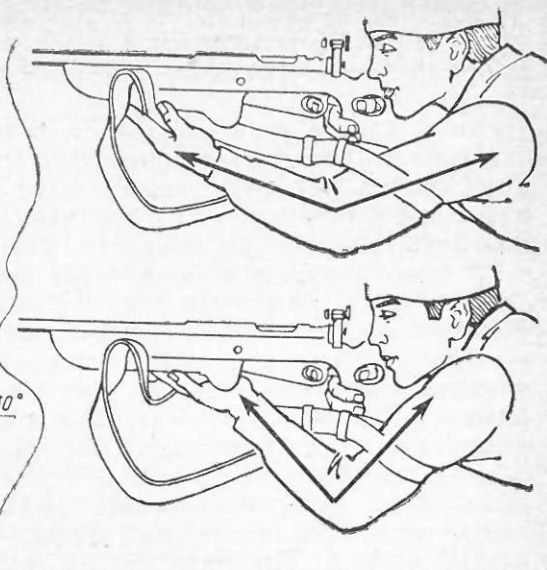


Рис. 119. Низкая (вверху) и высокая изготовка при стрельбе из положения лежа (по А. А. Юрьеву)

вперед. Варианты изготовления для стрельбы лежа (в зависимости от расположения кисти левой руки на цевье винтовки) можно подразделить на два основных: низкую изготовку и высокую (рис. 119). При низкой изготовке стрелок выносит левую руку (кисть) далеко вперед. Достоинство низкой изготовки в более высокой ее устойчивости. Недостаток в том, что мышцы левой руки быстро утомляются; кроме того, стрелку приходится во время прицеливания смотреть исподлобья, что неудобно.

Вопрос

Какие мышцы левой руки утомляются быстрее всего при низкой изготовке и почему?

При высокой изготовке плечо и предплечье образуют более острый угол (рис. 119). Достоинство высокой изготовки в более эффективном использовании силы мышц-сгибателей предплечья. Недостаток — меньшая устойчивость.

Приклад винтовки необходимо достаточно плотно прижимать к правой части груди.

Вопрос

Почему «отдача» оружия меньше, если приклад плотно прижат к плечу? Вспомните о законе сохранения количества движения?

Кисть правой руки охватывает рукоятку оружия с небольшим усилием, иначе произойдет смещение оружия по отношению к оси стрельбы. Указательный палец не должен принимать участие в охвате, между ним и ложей должен быть зазор.

Нажимать на спусковой крючок надо первой фалангой указательного пальца или сгибом между первой и второй фалангой. Силу необходимо прикладывать вдоль оси ствола.

При изготовке к стрельбе голову следует держать по возможности прямо; не надо тянуться головой вперед, к прицелу. Оптимальное расстояние между глазом и прицельным приспособлением от 2 до 5 см.

При прицеливании необходимо совместить на одной прямой линии прицельное приспособление, вершину мушки и мишень. Колебания оружия особенно велики в первые секунды прицеливания, а затем уменьшаются и потом вновь увеличиваются через 6—12 с от начала прицеливания (рис. 120). В момент выстрела следует задержать дыхание.

При стрельбе из положения лежа спортсмен принимает такую позу, при которой по возможности все мышцы расслаблены. Исключение составляют мышцы рук и плечевого пояса, обеспечивающие прицеливание и производство выстрела.

Для регистрации динамограммы стрельбы на спусковой крючок винтовки наклеивают тензодатчик. Динамограмма содержит информацию о технике выполнения выстрела и,



Рис. 120. Схематическая запись колебания оружия при выполнении выстрела (по А. А. Юрьеву):

I — «грубая наводка»; II — наилучшее время (для выстрела); III — увеличение амплитуды колебаний оружия вследствие утомления

кроме того, об отрегулированности ударно-спускового механизма. Чем более плавно изменяется сила, прикладываемая к спусковому крючку винтовки, тем выше точность.

ТУРИЗМ

Туристические походы делятся на пешие, лыжные, водные, велосипедные и конные. Здесь рассматриваются только особенности техники и тактики двигательной деятельности в пешем походе, где обычно и сдаются нормы ГТО. В пешем походе турист передвигается с грузом, который несет на себе, как правило, в рюкзаке.

Ведущим критерием оптимальности при передвижении с рюкзаком является экономичность. Найдены поправочные коэффициенты для расчета энергетической стоимости метра пути при ходьбе в зависимости от покрытия, исходя из коэффициента 1,0 для поверхности асфальта: твердая грунтовая дорога — 1,2; травяное покрытие — 1,3; лес и вспаханное поле — 1,5; плотный снег — 1,6; болотистая почва и песчаные дюны — 1,8; снег глубиной 100 см — 2,1.

При ходьбе с грузом и ходьбе в подъем затраты энергии как в единицу времени, так и на метр пути растут с увеличением крутизны подъема. Разумеется, с увеличением крутизны подъема колебательные перемещения туловища в вертикальной плоскости постепенно переходят в поступательное продвижение. Однако связанная с этим экономия энергии меньше дополнительных энергозатрат на подъем в гору.

Ходьба в гору отличается от ходьбы по горизонтальной поверхности не только энергетически, но и кинематически и по топографии работающих мышц. Туловище наклонено и руки вынесены вперед. Для увеличения трения, препятствующего соскальзыванию, нога ставится на всю ступню.

Вопросы и задание

1. Как изменяется оптимальная скорость ходьбы при усложнении внешних условий?

2. Докажите, что постановка ноги на всю ступню при подъеме в гору уменьшает вероятность соскальзывания вниз.

3. Для чего подошвы туристических ботинок делают ребристыми?

При подъеме в гору увеличивается активность: разгибателей стопы, сокращающихся из сильно растянутого состо-

яния; четырехглавой мышцы бедра из-за того, что в периоде задней опоры увеличена степень разгибания ноги в коленном суставе; мышц, разгибающих позвоночник, в напряжении которых из-за наклона туловища вперед есть значительный статический компонент. Эти сведения необходимо использовать при подготовке к походу для подбора тренировочных упражнений.

Внешние отягощения — один из наиболее изученных эргономических факторов, влияющих на эффективность двигательной деятельности. В туризме они имеют место при переноске рюкзака и других тяжестей (например, байдарки). До определенного предела дополнительные затраты энергии на передвижение линейно связаны с весом отягощения. Но увеличение массы груза свыше 30 кг (или произведения массы груза в кг на скорость ходьбы в км/ч свыше 100) приводит к непропорциональному повышению энергетической стоимости метра пути.

На энергозатратах сказывается место расположения груза. Так, 1 кг массы ботинка эквивалентен 4—8 кг груза, переносимого в руках или на торсе.

Чем равномернее распределен груз, тем легче его транспортировка. Например, переноска груза в одной руке (по сравнению с переноской груза в двух руках) увеличивает энергозатраты, как и любое отклонение тела от вертикальной позы.

Интересно, что в разных странах транспортировка больших грузов осуществляется по-разному. Наиболее распространены семь способов:

- 1) груз разделен пополам и перекинут через плечо, мешки внизу связаны;
- 2) корзина с грузом размещается на голове и поддерживается одной или двумя руками;
- 3) обычный рюкзак размещен за плечами;
- 4) мешок, затянутый сверху ремнем, который проходит вокруг лба (так носят груз шерпы-скалолазы, сборщики чая, жители некоторых районов Гималаев, индейцы);
- 5) «рисовый мешок» — этот способ используют кули; он отличается от предыдущего только тем, что два верхних угла мешка держат руками;
- 6) коромысло (или бамбуковый шест), на концах которого укреплен разделенный пополам груз, причем коромысло или шест придерживают рукой;
- 7) разделенный пополам груз несут в двух руках.

Экономичность названных способов убывает в том порядке, в каком они перечислены. Наименее энергоемки та-

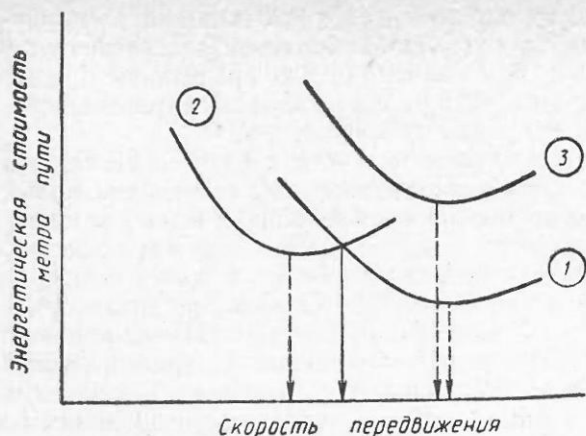


Рис. 121. Выбор скорости при совместном передвижении двух людей с разными величинами наиболее экономичной скорости (пунктирные линии):

1 — тренированный взрослый человек (ходьба); 2 — ребенок (ходьба); 3 — ребенок (бег)

кие приемы переноски груза, при которых минимален опрокидывающий момент силы тяжести груза. А наш традиционный (а также и станковый) рюкзак занимает в этом списке лишь третье место. Разумеется, это не означает, что туристу можно рекомендовать переносить груз на голове. Этот способ под силу лишь тем, кто его использует годами и в результате такой тренировки обладает сильными мышцами шеи и незаурядной способностью поддерживать равновесие.

Внешние отягощения и подъем в гору снижают оптимальную (наиболее экономичную), а также и пороговую (соответствующую анаэробному порогу) скорости.

Вопрос: что такое зона экономичных режимов?

Так же и физическое утомление, наступающее через 1,5—2 ч ходьбы с пороговой скоростью, на 5—10% снижает оптимальную скорость.

Еще заметнее влияние жары, которая значительно отягощает любую физическую нагрузку. С увеличением внешней температуры на 25°C оптимальная скорость ходьбы падает на 30%.

Как известно (см. в главе 7), интервал скоростей от оптимальной до пороговой называют зоной экономичных режимов. В туристическом походе целесообразно идти с оптимальной (наиболее экономичной) скоростью. Длитель-

ная двигательная деятельность с пороговой интенсивностью под силу только наиболее физически подготовленным туристам. Ведь известно, что предельная продолжительность мышечной работы пороговой интенсивности даже у спортсменов редко превышает 2 ч.

У людей разного возраста и физической подготовленности величины оптимальной скорости неодинаковы, так же как и величины пороговой скорости (см. в главе 7). Поэтому руководителю похода не избежать компромиссных решений. Одно из них сводится к тому, чтобы уравнивать энергетические стоимости метра пути. Тогда будет выбрана скорость, показанная на рис. 121 сплошной стрелкой. Но возможны и другие решения. Например, если здоровье туристов неодинаково, то всем целесообразно идти со скоростью, оптимальной для человека с ослабленным здоровьем. Когда в поход идут взрослые с детьми школьного воз-

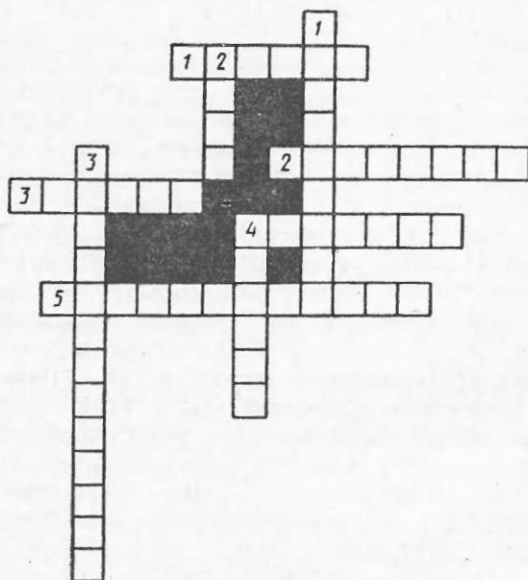


Рис. 122. Кроссворд.

По горизонтали. 1. Оздоровительный вид двигательной активности. 2. Вид спорта. 3. Приспособление для переноски тяжести в походе. 4. Изменение направления движения. 5. Общеразвивающее упражнение, входящее в комплекс ГТО.

По вертикали. 1. Компонент техники стрельбы. 2. Опора для отжимания. 3. Критерий оптимальности двигательной деятельности. 4. Часть винтовки.

раста, детям полезно идти или бежать со скоростью, оптимальной для взрослого,— пусть потренируются!

Контрольные вопросы

1. На какие фазы делятся подтягивания и другие общеразвивающие упражнения, входящие в комплекс ГТО?

2. Сравните различные общеразвивающие гимнастические упражнения комплекса ГТО:

— по энергетической стоимости одного цикла движений;

— по затратам энергии в единицу времени.

3. Назовите наиболее активные мышцы при выполнении: подтягиваний, приседаний, отжиманий, наклонов вперед, прыжков со скакалкой.

4. Какие компенсаторные движения позволяют сохранить устойчивость при выполнении наклонов вперед и приседаний?

5. Нарисуйте динамограммы общеразвивающих гимнастических упражнений и объясните, почему сила действия на опору не равна силе тяжести на протяжении всего упражнения.

6. Назовите варианты изготровки для стрельбы из положения лежа и основные показатели, характеризующие их.

7. Как влияют условия на экономичность передвижения в туристическом походе? Приведите примеры.

8. Как обеспечить наименьшие энергозатраты при передвижении с грузом?

9. Как выбрать скорость совместного передвижения людей неодинакового состояния здоровья и физической работоспособности?

10. Решите кроссворд (рис. 122).

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Акселерат двигательный 106
Амбидекстрик 108
Амортизация 121, 122
Антагонизм созревания и научения 102
Биомеханика 6
— дифференциальная 3, 8, 98
— общая 3, 8
— частная 3, 8
Биомеханический анализ 10
Биомеханическое обоснование техники (тактики) 45
Вес тела динамический 123
— статический 123
Внешнее отягощение 196
Возраст двигательный 105
— дефинитивный 107
— ювенильный 107
Выносливость 56
Высота выпуска снаряда 166
Геометрия масс тела 17
Гибкость активная 63
— пассивная 63
Градиент силы 62
Датчик биомеханический 65
Двигательная деятельность 9
Двигательные
— действия 9
— переключения 87
— предпочтения 108
Движения вокруг осей 181
— на месте 181
Дефинитивный показатель 107
Динамограмма 62
Дистанция анаэробных резервов 79
Длина маятника 23
— шага 119
— оптимальная 127, 129
Длительность
— движения 39
— цикла 41
Жесткость мышцы 29
Задача фазы 112, 134—135
Закон
— Бернулли 149, 159
— Гука 29
— сохранения кинетического момента 182
Звено тела 17, 21
— биомеханическое 21
Зона экономичных режимов 130
Изготовка 192
Изоспида 119
Импульс силы 43
— момента силы 43
Инертность 18
Информативность теста 53
Количество движения 20
Комфортабельность 14
Коэффициент использования механической энергии 81
— механической эффективности 44
— прогностической информативности 107
— реактивности 62
— трения скольжения 140
— экономичности 81
Кривая Хилла 28, 93
Критерий
— информативности 53
— оптимальности 13, 14
Латентное время двигательной реакции 60
Лыжный ход 133
Масса 18
Маятник 23
Механическая производительность 13
Механические свойства
— костей 25
— суставов 26
Моделирование имитационное на ЭВМ 78, 89
Модель антропоморфная 19
— мышцы 28
Момент вращающий 42
— инерции 18
— кинетический 20
— силы 42
Мощность механической работы 43
— мышечного сокращения 31
Мышцы-антагонисты 31
— синергисты 31
Надежность теста 54
Общеразвивающие гимнастические упражнения 184
Общий центр масс 18, 95
Объективность теста 54
Объем тактики 45
Объем техники общий 45
— соревновательный 46

- Оптимальная техника двигательных действий 100
- тактика двигательной деятельности 100
- Оптимизация 13
- Освоенность техники 49
- Оттачивание 123
- Переместительное действие 164
- Перемещение
 - линейное 40
 - угловое 40
- Плечо рычага 21
- силы 42
- Повышение экономичности движений 83—89
- Погрешность измерения 50, 51
- Податливость мышцы 29
- Поза граничная 120
- Правило обратимости двигательных заданий 57
- Преодолевающий режим мышечного сокращения 30
- Принцип минимума энергозатрат 88
- Программированное обучение 110
- Прочность мышцы 29
- Пульсовая стоимость метра пути 45
- Работа поперечная 81, 83
 - внешняя 81, 82
 - внутренних органов 81
 - внутренняя 81, 82, 83
 - продольная 81, 83
 - механическая 43, 81
 - явная (наблюдаемая) 81, 82
- Равновесие 179
- Радиотелеметрия 69
- Радиус инерции 18
- Разносторонность техники 47
- Рациональность техники 48
- Резонансных колебаний частота 23
- Рекуперация энергии 24, 84, 126
- Релаксация мышцы 29
- Ретардант двигательный 106
- Ритм 41
- Рычаг
 - I рода 21
 - II рода 21
- Свойства мышц 27—30
- Сегмент тела 18
- Сенситивный период 102
- Сила 39
 - Архимеда 157
 - внешняя 122
 - внутренняя 122
 - волнообразная 159
 - инерции 122
 - подъемная 157
 - реакции опоры 123
 - сопротивления воздуха (воды) 123
 - трения 140, 141
 - тяжести 21, 123
- Синергизм созревания и научения 102
- Системно-структурный подход 15
- Скорость 40
 - критическая 80
 - линейная 40
 - максимальная 60
 - одиночного движения 60
 - оптимальная 130
 - пороговая 130
 - угловая 40
- Созревание 101
- Сократимость мышцы 27
- Суггестология 114
- Тактика двигательной деятельности 100
- Тарировка 51
- Телеметрия 68
- Темп движений 40
 - максимальный 60
- Теорема Кенига 44
- Тестирование
 - выносливости 56
 - гибкости 63
 - силовых качеств 57
 - скоростных качеств 60
- Топография работающих мышц 11
- Точность двигательных действий 14
- Траектория 40
- Тренажер 96
- Угол вылета 166, 167
- Удельный вес тела 154, 155
- Упругие свойства мышцы 28
- Ускорение
 - линейное 40, 41
 - угловое 40, 41
- Условие равновесия рычага 21
- Уступающий режим мышечного сокращения 30
- Фаза двигательного действия 10, 41
- Факторы выносливости 80
- Фракции механической работы 81
- Функциональный подход 14
- Характеристики
 - биомеханические 36

- динамические 36, 40
- кинематические 36, 42
- энергетические 36, 43
- Хронограмма 10, 41
- Цель фазы 134, 135
- Центр масс 18
- Частота шагов оптимальная 23, 129
- Число Фруда 127
- Шкала наименований 35
- отношений 35
- педагогического оценивания 55
- порядка 35
- Экономичность 13
- Электромиографический портрет 160, 161, 163
- Энергетическая стоимость 45
- Энергия кинетическая 44
- потенциальная 44
- Эстетический идеал 175—177
- Эстетичность движений 14
- Эффективность
- тактики 47
- техники 47
- Ювенильный показатель 107
- Языки описания двигательных действий 112

ЛИТЕРАТУРА

- Анатомия человека/Под ред. В. И. Козлова.— М., 1978.
- Бальсевич В. К., Запорожанов В. А. Обучение спортивным движениям.— Киев, 1986.
- Барчаи Е. Анатомия для художников.— Будапешт, 1975.
- Бернштейн Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности.— М., 1966.
- Гастев А. К. Как надо работать.— М., 1972.
- Гросс Х. Х. Методология педагогической кинезиологии.— Таллин, 1987.
- Гурфинкель В. С., Коц Я. М. Регуляция позы человека.— М., 1965.
- Донской Д. Д. Биомеханика физических упражнений.— М., 1960.
- Донской Д. Д. Биомеханика.— М., 1975.
- Донской Д. Д. Ходить и бегать для здоровья.— М., 1985.
- Донской Д. Д., Зациорский В. М. Биомеханика.— М., 1979.
- Жуков Е. К., Котельников Е. Г., Семенов Д. А. Биомеханика физических упражнений.— М., 1963.
- Зациорский В. М., Аруин А. С., Селуянов В. Н. Биомеханика двигательного аппарата.— М., 1981.
- Каунсилмен Дж. Наука о плавании.— М., 1971.
- Конради Г. П., Слоним А. Д., Фарфель В. С. Физиология труда.— М.; Л., 1934.
- Кузнецова А. А. Красота человека в искусстве.— М., 1980.
- Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Краткий теоретический курс физики.— М., 1969.— Книга I. Механика.
- Лапутин А. Н. Обучение спортивным движениям.— Киев, 1986.
- Ле Корбюзье. Архитектура XX века.— М., 1977.
- Лисицкая Т. С. Ритм+пластика.— М., 1987.
- Ломан В. Бег, прыжки, метания.— М., 1985.
- Лоу Б. Красота спорта.— М., 1984.
- Манжосов В. Н. Тренировка лыжника-гонщика.— М., 1986.
- Миненков Б. В. Техника и методика тензометрических исследований в биологии и медицине.— М., 1976.
- Персон Р. С. Электромиография в исследованиях человека.— М., 1969.
- Пилс-Самкова Г. Всегда в хорошей форме.— М., 1975.
- Практикум по биомеханике/Под общ. ред. И. М. Козлова.— М., 1980.
- Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика.— М., 1987.
- Сеченов И. М. Рефлексы головного мозга.— М., 1935.
- Сонькин В. Д. Растем сильными и здоровыми.— М., 1987.
- Спортивная метрология/Под общ. ред. В. М. Зациорского.— М., 1982.

- Тутевич В. Н. Теория спортивных метаний.— М., 1969.
- Уткин В. Л. Биомеханические аспекты спортивной тактики.— М., 1984.
- Уткин В. Л. ГТО: техника движений (с основами контроля и оптимизации).— М., 1987.
- Уткин В. Л. Измерения в спорте (введение в спортивную метрологию).— М., 1978.
- Уткин В. Л. Культура движений.— М., 1984.
- Уткин В. Л. Оптимизация двигательной деятельности человека.— М., 1981.
- Филипп В. Н., Сабодаш П. Ф. Механика вокруг нас.— Кишинев, 1983.
- Хилл А. Механика мышечного сокращения.— М., 1972.
- Хальянд Р., Тамп Т., Каал Р. Модели техники спортивных способов плавания с методикой совершенствования и контроля.— Таллин, 1986.
- Яковлев Н. Н. Химия движений.— Л., 1983.
- Broer M. R. Efficiency of human movement.— London, 1960.
- George G. S. Biomechanics of Women's Gymnastics.— New York, 1980.
- Hay J. G. The Biomechanics of Sports Techniques.— New Jersey, 1985.
- Johnson B. L., Nelson I. K. Practisal measurements for evaluation in physical education.— Minneapolis, 1978.
- Margaria R. Biomechanics and energetics of muscular exercise.— Oxford, 1976.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора	3
Часть первая. Общая и дифференциальная биомеханика	6
Глава 1. Введение в биомеханику	6
Глава 2. Двигательный аппарат человека	17
Геометрия масс тела человека	17
Звенья тела как рычаги и маятники	21
Механические свойства костей и суставов	25
Биомеханика мышц	27
Биомеханические свойства мышц	27
Режимы сокращения и разновидности работы мышц	30
Групповое взаимодействие мышц	31
Мощность и эффективность мышечного сокращения	31
Глава 3. Основы биомеханического контроля	33
Измерения в биомеханике	34
Шкалы измерений и единицы измерений	35
Биомеханические характеристики	36
Количественная оценка технико-тактического мастерства	45
Точность измерений	50
Тестирование и педагогическое оценивание в биомеханике	52
Качество теста	52
Педагогическое оценивание	54
Тестирование двигательных качеств	56
Автоматизация биомеханического контроля	64
Датчики биомеханических характеристик	65
Телеметрия и методы регистрации биомеханических характеристик	68
Биомеханический контроль и ЭВМ	74
Глава 4. Биомеханические основы двигательных качеств	79
Биомеханические основы выносливости	79
Биомеханика силовых и скоростных качеств	92
Биомеханика устойчивости	94
Биомеханические тренажеры	96
Глава 5. Дифференциальная биомеханика	98
Телосложение и двигательные возможности	98
Возрастные изменения двигательных возможностей	101
Двигательный возраст	105
Прогностическая информативность показателей моторики	106
Двигательные предпочтения	108
Глава 6. Использование основ биомеханики в педагогической деятельности по физическому воспитанию	110
Основы программированного обучения технике и тактике двигательной деятельности	110
Основы педагогической кинезиологии	111
Понятие о суггестивных методах обучения	114

Часть вторая. Частная биомеханика	117
Глава 7. Биомеханика ходьбы и бега	117
Кинематика ходьбы и бега. Топография работающих мышц	119
Динамика ходьбы и бега	122
Энергетика ходьбы и бега	126
Оптимизация ходьбы и бега	128
Глава 8. Биомеханика передвижения на лыжах и велосипеде	133
Биомеханика передвижения на лыжах	133
Кинематика лыжных ходов	143
Динамика передвижения на лыжах	140
Энергетика передвижения на лыжах	141
Оптимальные режимы передвижения на лыжах	143
Биомеханика езды на велосипеде	145
Кинематика педалирования	145
Динамика и энергетика педалирования	146
Топография работающих мышц	149
Оптимальные режимы педалирования	149
Глава 9. Биомеханика плавания	153
Кинематика плавания	156
Динамика плавания	157
Топография работающих мышц	159
Энергетика плавания	160
Оптимизация плавания	161
Глава 10. Биомеханика переместительных действий и прыжков	164
Метание гранаты и мяча	165
Кинематика метаний	165
Топография работающих мышц	165
Оптимальные режимы метаний	166
Прыжки в высоту	167
Кинематика прыжков в высоту	167
Динамика прыжков в высоту	169
Прыжки в длину с разбега	170
Глава 11. Биомеханика технико-эстетических видов спорта	174
Эстетический идеал и его эволюция	175
Биомеханическое описание основных элементов двигатель- ной деятельности в артистических видах спорта	179
Глава 12. Биомеханические основы общеразвивающих упражне- ний	184
Общеразвивающие гимнастические упражнения	185
Стрельба	192
Туризм	195
Предметный указатель	200
Литература	203

Учебное издание

УТКИН ВЛАДИМИР ЛЕОНИДОВИЧ

БИОМЕХАНИКА ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ

Зав. редакцией *Б. О. Хренников*

Редактор *М. В. Маслов*

Художники *Н. Н. Буркова, Н. П. Лобанев*

Художественный редактор *Е. Л. Ссорина*

Технический редактор *Т. П. Локтионова*

Корректор *М. Ю. Сергеева*

ИБ № 11 460

Сдано в набор 29.07.88. Подписано к печати 13.01.89. Формат 84×108¹/₃₂. Бум. кн.-журн. отечеств. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 10,92. Усл. кр.-отт. 11,55. Уч.-изд. л. 11,02+ +0,33 форзац. Тираж 35 700 экз. Заказ № 1984. Цена 55 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 129846, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Областная ордена «Знак Почета» типография им. Смирнова Смоленского облуправления издательств, полиграфии и книжной торговли. 214000, г. Смоленск, пр. им. Ю. Гагарина, 2.

**В 1989 ГОДУ
В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ПРОСВЕЩЕНИЕ»
ВЫХОДЯТ СЛЕДУЮЩИЕ КНИГИ:**

**МИНАЕВ Б. Н., ШИЯН Б. М. Основы теории и методики
физического воспитания школьников.**

**РОТЕРС Т. Т. Музыкально-ритмическое воспитание и ху-
дожественная гимнастика.**

СТОЛБОВ В. В. История физической культуры.