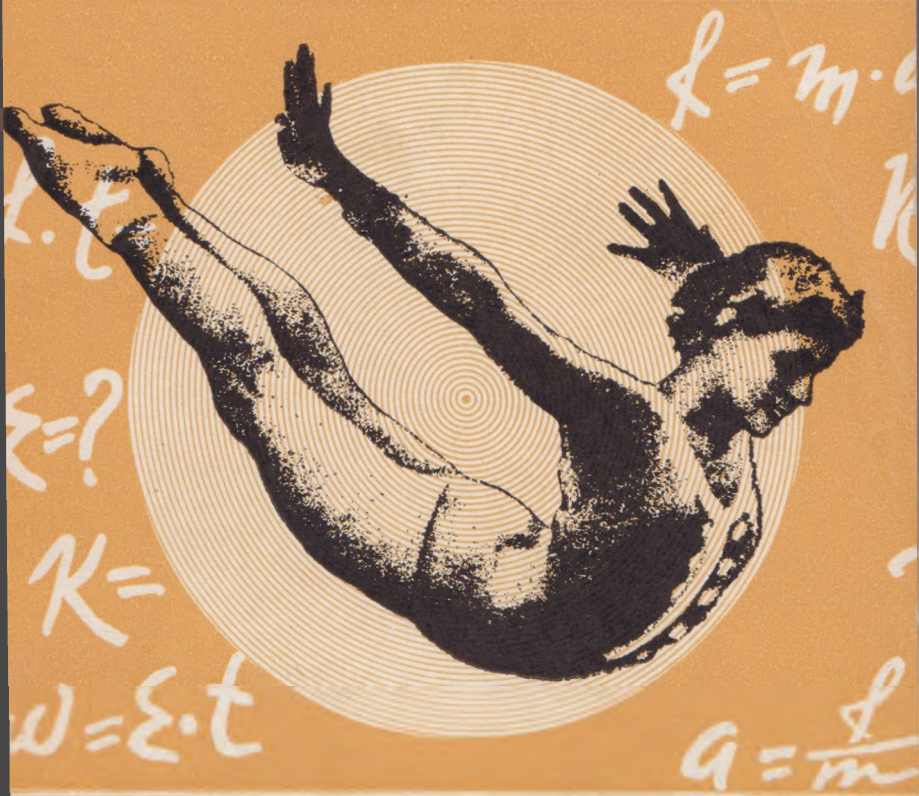


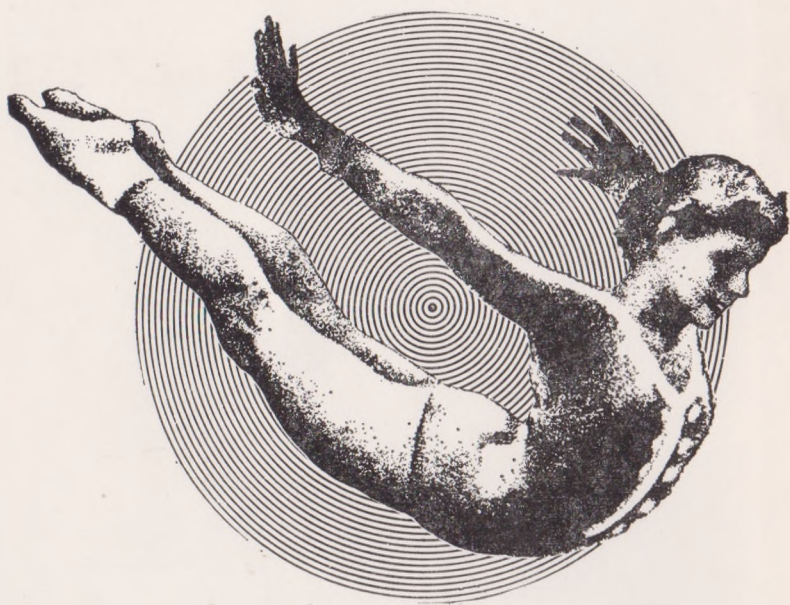
НАУКА
СПОРТУ



В.Б. Коренберг

**Основы качественного
биомеханического
анализа**

НАУКА
СПОРТУ



СТРОКАТОВ ВІКТОР
Тел: +38-0322-765732

В. Б. Коренберг

ОСНОВЫ

качественного

биомеханического

анализа

Москва
«Физкультура и спорт»
1979

ББК 75.0
К66

Коренберг В. Б.

К 66 Основы качественного биомеханического анализа. — М.: Физкультура и спорт, 1979. — 208 с., ил. — (Наука спорту).

Качественный биомеханический анализ физических упражнений дает возможность объективно определить сущность технических ошибок в двигательных действиях спортсменов, найти пути устранения этих ошибок. Поэтому он рассматривается в книге как один из основных резервов совершенствования тренировочного процесса.

В специальной литературе качественный биомеханический анализ еще не обсуждался ни как проблема, ни как раздел биомеханики, ни как метод. Методика его разработана автором.

Книга рассчитана на тренеров и других специалистов в области физической культуры и спорта.

К $\frac{60901-093}{009(01) - 79}$ 71-79

ББК 75.0
7А.06

3401000000

Серия «Наука спорту»

Владимир Борисович Коренберг

ОСНОВЫ КАЧЕСТВЕННОГО БИОМЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Заведующая редакцией *Л. И. Кулешова*. Редактор *А. С. Иванова*. Художник *В. С. Лындия*. Художественный редактор *Ф. Н. Буданов*. Технический редактор *Н. Н. Бурова*. Корректор *З. Г. Самылкина*.

ИБ № 410. Сдано в набор 29.08.70. Подписано к печати 12.02.79. А 06642. Формат 84×108^{1/32}. Бумага типографская № 1. Гарнитура «Литературная». Высокая печать. Усл. п. л. 10,92. Уч.-изд. л. 11,20. Тираж 15 500 экз. Издат. № 5724. Зак. 691. Цена 60 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Физкультура и спорт» Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 103006, Москва, К-6, Каляевская ул., 27.

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

© Издательство «Физкультура и спорт», 1979 г.

Техническая подготовка спортсменов немислима без анализа выполнения упражнений и действий. Наиболее объективен и содержателен биомеханический анализ. Вопрос о его эффективности особенно остро встал на современном этапе развития спорта: все усложняющаяся техника упражнений, высокие требования к техническому мастерству и результатам, «омоложение» спорта, огромный накал спортивной борьбы вынуждают мобилизовать доступные резервы обучающей информации. Между тем биомеханический анализ двигательных действий, проводимый со знанием дела, скорее исключение, чем правило, в сегодняшней спортивной практике. Виной тому — трудности, связанные с осуществлением и осмысливанием приборных количественных измерений. По-настоящему «соединить» тренеров и спортсменов с биомеханикой может лишь качественный биомеханический анализ.

Беседы автора с теоретиками спорта и тренерами подкрепили его убеждение в актуальности разработки методики качественного биомеханического анализа и ее внедрения в практику спорта. В актуальности этой проблемы убеждает и тот факт, что в специальной литературе качественный биомеханический анализ еще не обсуждался ни как проблема, ни как раздел биомеханики, ни как метод. В связи с этим содержание книги является новым по существу.

Качественный биомеханический анализ может и должен стать одним из основных средств контроля над учебно-тренировочным процессом и управления им. Нелишне заметить, что даже в такой «математизированной» области знаний, как теоретическая физика, огромное значение придается рассуждениям качественного характера, гипотезам на качественном уровне, качественным решениям.

Впрочем, и про математику говорят, что это «искусство избегать вычислений». Доступность и практическая эффективность качественного биомеханического анализа физических упражнений дает основание предполагать его широкое распространение.

Логика науки требует, чтобы частные методики вытекали из обобщающей системы, а не эклектически объединялись в нее формально. Следовательно, в качестве первого шага естественно было начать с разработки основ качественного биомеханического анализа, опираясь на которые можно лучше и легче разработать частные методики анализа двигательных действий того или иного типа. Поскольку все виды спорта по характеру большей части упражнений можно (условно) разделить на 8—10 групп, для каждой из них — это второй шаг — следовало бы конкретизировать методику качественного анализа, разработать его специфические методы и приемы, определить круг нужных в первую очередь знаний. Издание соответствующих пособий, безусловно, поможет существенно поднять уровень технической подготовки спортсменов любой квалификации.

Необходимость дать обширный материал заставила прибегнуть к почти конспективному изложению большей части затронутых вопросов. Кроме того, автор рассчитывает на некоторое знакомство читателя с механикой. Посвященные ей в книге разделы 1.2 и 1.4 носят характер скорее выборочных комментариев, чем систематического изложения.

Построение обобщающей системы неизбежно требует более высокого, чем в частных системах, уровня абстрагирования понятий, в связи с чем неизбежно утрачивается частично их качественная определенность, они теряют детали и оттенки, предстают в непривычном свете. Это следует учитывать при чтении. В тексте много терминов, в том числе новых, вводя которые автор руководствовался принципом: термин не обязательно должен *объяснять* обозначаемое им понятие — он оправдан и в том случае, если помогает более точно *объясняться*.

Пользуюсь возможностью выразить глубокую признательность Д. Д. Донскому и В. Т. Назарову за ценные замечания, которые очень помогли в процессе доработки рукописи.

Большая часть работы тренера в области технической подготовки основана на анализе выполнения упражнений воспитанниками. Это положение настолько очевидно, что вряд ли нуждается в специальных доказательствах. Однако, говоря об анализе выполнения упражнения, в данное понятие вкладывают не всегда одинаковый смысл. Анализ выполнения упражнения может иметь совершенно разное по характеру содержание. Целесообразно различать три его основные формы (отметим и главные разновидности этих форм):

1. *Количественный биомеханический анализ:*

а) *точный* — с тщательной обработкой и использованием точных данных различных приборных измерений, циклографии, фото- или киносъемки и т. п., с учетом возможно большего числа даже второстепенных факторов;

б) *приближенный* — с упрощенной обработкой и использованием сравнительно грубых данных различных приборных измерений, циклографии, фото- или киносъемки, с учетом лишь наиболее весомых (в интересующем аспекте) факторов.

2. *Качественный биомеханический анализ:*

а) *углубленный* — с тщательным исследованием материалов различных приборных измерений, циклографии, фото- и киносъемки и т. п., а также с привлечением логических построений, включающих данные смежных наук. Задача такого анализа — осмысливание проведенного количественного анализа, его углубление и дополнение, получение педагогических выводов;

б) *основной* — то же, что и при углубленном анализе, но без использования материалов приборных измерений и специально обсчитываемых материалов фото- и киносъемки и циклографии, т. е. материалов количественного анализа;

в) *упрощенный* — с использованием грубых оценок, с учетом лишь решающих факторов (применяется в простых, контрастных ситуациях, в условиях острого дефицита времени, а также в случае отсутствия знаний, необходимых для более тщательного анализа).

3. *Педагогический анализ* — без сколько-нибудь существенного применения биомеханики.

Поскольку данная книга посвящена основным разновидностям (или *подформам*) качественного биомеханического анализа, другие формы анализа упражнений охарактеризованы в ней бегло и лишь с точки зрения прикладности.

Точный количественный биомеханический анализ выполнения упражнений представляет собой мощный, но сложный, громоздкий, дорогой и капризный инструмент специальных исследований не только в спорте, но и в физиологии труда, в восстановительной медицине, в конструировании роботов и некоторых специальных машин. Применение его в учебно-тренировочном процессе возможно и целесообразно лишь в отдельных случаях. Эта форма анализа нужна для выявления и задания эталонов выполнения различных упражнений, для решения тех или иных принципиальных спорных вопросов построения движений, для определения биомеханических закономерностей двигательных действий. Так что если эта форма анализа и применима в спортивной педагогике, то разве что в работе со спортсменами очень высокого класса, да и то на сборах и не слишком часто (нельзя не считаться с тем, что соответствующая аппаратура обслуживается специально подготовленным персоналом; в рабочем положении она является значительной помехой для самих тренирующихся; обработка данных требует обычно много времени и определенного навыка).

Таким образом, можно сделать вывод, что точный количественный биомеханический анализ нужен для практической педагогики, но не может быть пока ее средством (по крайней мере в ближайшие 5—10 лет). Конечно, измерительная техника становится все совершеннее, проще в применении, так что со временем точный количественный биомеханический анализ станет вполне доступным. Но произойдет это не так уж скоро.

В качестве средства практической педагогики пока что более перспективен приближенный количественный биомеханический анализ, поскольку значительно проще

приборы, обеспечивающие измерения, и куда менес трудоемок процесс обработки данных. Однако такой анализ не позволяет замечать сколько-нибудь тонких различий в параметрах движений и по конечным результатам их оценки приближается к качественному биомеханическому анализу, однако заметно уступает ему в глубине и педагогической ценности выводов.

Вообще следует отметить, что педагогическая прикладная ценность количественного биомеханического анализа (обеих упомянутых разновидностей) *без дополнения его качественным анализом* в большинстве случаев не может быть большой. Только качественный анализ позволяет делать обобщения, небанальные выводы, искать и находить не прямые причины искажений (ошибок) заданных двигательных действий. Собственно говоря, любое осмысливание и обобщение материала анализа и синтеза по существу, «в глубину», — это уже качественный анализ. Количественный анализ в основном лишь поставщик фактического материала и в конечном счете является подсобным инструментом по отношению к качественному анализу, расширяющим возможности последнего. Только на уровне качественного анализа биомеханика действительно обращается к спортивной педагогике, полноценно работает на нее, становится ее важной неотъемлемой составной частью.

По-видимому, совершенствование технической оснащенности учебно-тренировочного процесса со временем приведет к тому, что контроль за целым рядом важных параметров движений станет совсем простым делом, не будет сопровождаться помехами выполнению упражнений и требовать сколько-нибудь значительных затрат труда и времени. Тогда, естественно, целесообразным станет «сплав» качественного биомеханического анализа с количественным (нечто подобное подразумевается под углубленным качественным биомеханическим анализом). Пока что такая форма анализа может найти применение лишь в исключительных случаях, и потому ей не уделяется внимания в дальнейшем изложении.

Уже говорилось, что в настоящее время наиболее приемлемым и результативным в педагогическом плане является основной качественный биомеханический анализ. Такой анализ в большинстве случаев позволяет разобраться в причинах и существовании технических ошибок выполнения физических, прежде всего спортивных, упраж-

нений и действий, найти пути устранения таких ошибок, подобрать рациональный вариант индивидуальной интерпретации техники упражнения и в то же время сохранить целостность педагогического процесса. Кроме того, данная форма анализа чрезвычайно гибка в том отношении, что позволяет соотносить глубину, средства и «ширину захвата» анализа с возможностями проводящего его конкретного человека (конечно, если он сам правильно, трезво оценивает свои возможности).

Есть все основания полагать, что основной качественный биомеханический анализ представляет собой как раз то звено, которое призвано органически связать биомеханику со спортивной педагогикой: он в принципе автономен, независим от каких-то способов регистрации движений, хотя может быть обогащен и углублен полученными с их помощью данными. Все, что нужно для проведения такого анализа, тренер или спортсмен всегда имеют при себе: знания, ощущения, восприятия, логическое и образное мышление, воображение.

Представляется правомерным выделить (весьма условно) в качестве самостоятельной разновидности *упрощенный* качественный биомеханический анализ. Его отличительная особенность заключается в том, что, проводя его, принимают во внимание только основные, самые существенные и веские, факторы, даже грубый учет которых позволяет уверенно определить те или иные особенности выполнения движений или действия в целом, рациональный путь изменения техники выполнения упражнения и т. п. Учет только первостепенных факторов, отказ от тщательного их взвешивания, установка на то, чтобы довольствоваться лишь бесспорными (конечно, все относительно!) и не требующими детальных рассуждений выводами, т. е. заведомый отказ от решения задач, связанных с анализом многих противоречивых факторов, — все это позволяет проводить такой анализ чрезвычайно оперативно, порой даже во время самого выполнения двигательного действия. Оперативность в определенных ситуациях компенсирует примитивность и ограниченность используемых данных, заставляя с особым вниманием относиться к этой форме анализа.

Несколько слов нужно сказать и о *педагогическом анализе* выполнения упражнений, *не связанном с биомеханикой*. Это имеет смысл хотя бы потому, что соображения, которыми мы руководствуемся, проводя педагогиче-

ский анализ, важны и при качественном биомеханическом анализе (любой из перечисленных разновидностей). Тут имеется в виду анализ выполнения упражнения и с позиций спортивной тактики, и с психологических позиций, и исходя из эстетических критериев либо критериев, определяемых правилами соревнований.

Решение тех или иных тактических задач нередко существенно зависит от выбора техники выполнения упражнений. Например, при проведении атакующего приема в борьбе, когда противник заметно слабее или неудачно вел схватку и проигрывает много очков, спортсмен может позволить себе больший риск, чем в случаях, когда противник силен, проигрывает совсем мало и главная тактическая задача в связи с этим — удержать перевес в очках до конца схватки. Но что значит «позволить себе больший риск»? Это значит применять такую технику выполнения приема, которая сопряжена, скажем, с какими-то неустойчивыми (точнее, с такими, которые противник легко может превратить в неустойчивые) промежуточными положениями в процессе подготовки атаки и проведения приема.

Другой пример. Боксер при нанесении удара в большей или меньшей степени (в зависимости от обстоятельств) «поддерживает» удар движением туловища, т. е. варьирует технику выполнения приема в соответствии с тактической задачей: нанести предельно сильный удар, просто набирать очки, остановить атаку противника и т. п.

Еще пример. Если главная тактическая задача гимнаста — четко приземлиться, он довольствуется более скромным исполнением соскока; и наоборот, когда главная задача — достичь «потолка» оценки, гимнаст старается взлететь повыше, как можно четче выполнить движения, составляющие соскок. И здесь налицо варьирование выполнения упражнения с целью лучшего решения поставленной тактической задачи.

Во всех приведенных примерах можно давать оценку выполнению упражнения либо анализировать его и без применения биомеханики, с чисто спортивных или спортивно-педагогических позиций, по внешним признакам и спортивному результату.

Немалое значение имеет и анализ выполнения упражнений, производимый в чисто психологическом плане. Например, распространенная у гимнастов-повичков

ошибка при выполнении поворота назад (фляка) — произвольный поворот и наклон туловища в сторону — объясняется страхом.

Несколько слов об *оценочном анализе*, содержание которого составляет в основном выработка обоснованной оценки выполнения упражнения (с различных позиций), выражаемой в таких терминах, как: «хорошо», «плохо», «лучше», «красиво», «чисто», «легче» и т. д. Оценки могут составлять причинные цепи: «лучше», потому что красивее, а красивее, потому что «чище» и «изящнее». Не следует недооценивать подобный анализ: он незаменим в работе с детьми, да и в работе со взрослыми совсем забывать о нем не следует, так как подчас он адекватен решаемой педагогической задаче.

Следует четко оговорить одну исторически сложившуюся терминологическую неувязку: в понятие «биомеханический анализ выполнения упражнений» входят и элементы синтеза, а иногда сложные синтетические построения или самые разнообразные комбинации анализа и синтеза.

В настоящее время подавляющее большинство тренеров, не говоря уже о спортсменах, обходятся практически без анализа упражнений с позиций биомеханики. Между тем биомеханика представляет собой мощный инструмент проникновения в сущность систем движений, выявления причин двигательных ошибок и отыскания путей избавления от них, рационализации обучения, конструирования техники упражнений и отдельных действий и т. д. Биомеханику от спортсменов и тренеров сегодня отделяет практическая несовместимость сложных приборных измерений и последующей громоздкой обработки полученных данных с процессом интенсивной спортивной тренировки. Выход в спортивную практику выводов и некоторых других материалов биомеханических исследований, использование ведущими спортсменами страны приборных измерений отдельных параметров движений с попытками (обычно чересчур упрощенными) их интерпретации пока носят эпизодический характер. Для широкого и органического внедрения качественного биомеханического анализа (основного и упрощенного) в спортивную практику необходимо: 1) приобретение спортсменами и особенно тренерами специальных знаний и навыков (как-то академик Д. Н. Прянишников очень метко сказал, что химизацию сельского хозяйства надо начи-

пять с химизации агрономов); 2) разработка методики названных форм качественного биомеханического анализа. Достижение того и другого — задачи отнюдь не простые. В частности, одна из главных трудностей заключается в обилии и разнохарактерности даже широко культивируемых видов спорта.

Для решения этих задач следует прежде всего очертить круг общих основ необходимых знаний, связно изложить их как систему и сделать их доступными потенциальному «потребителю» — практикам спорта; затем надо заложить основы методики качественного биомеханического анализа. Настоящая книга по замыслу призвана служить решению как раз этой части проблемы. Решению второй ее части должен помочь выпуск руководств по качественному биомеханическому анализу упражнений в отдельных видах спорта, где были бы достаточно подробно и полно изложены необходимые для анализа именно этих упражнений дополнительные научные сведения и методические рекомендации, а также данные и выводы анализа важнейших упражнений и действий, характерных для данного вида спорта.

В наши дни найдется мало сомневающихся в значении научного и методического оснащения спортивной подготовки, так что есть все основания надеяться на повсеместное, быстрое и плодотворное внедрение качественного биомеханического анализа в учебно-тренировочный процесс. Это будет третьим шагом к решению проблемы. А далее — широкое поле для совершенствования методики и приемов анализа силами ученых и практиков.

Биомеханический анализ в спорте чаще всего преследует педагогические цели. Тем более это относится к КБА. Он призван решать в основном семь методических задач технической подготовки.

1. Оптимальное использование двигательных возможностей спортсмена в рамках утвердившихся в спортивной практике и регламентированных правилами видов спорта форм двигательных действий, т. е. в рамках дозволенной техники упражнений.

2. Ревизия утвердившихся форм (техники) упражнений и действий с целью повышения их эффективности (в некоторых случаях это оправдывает и соответствующую ревизию правил).

3. Распознавание, определение и объяснение двигательных ошибок.

4. Нахождение путей и средств ликвидации, предупреждения и компенсации двигательных ошибок.

5. Подбор и конструирование наиболее эффективных подготовительных, подводящих и имитационных упражнений и их систем.

6. Получение достоверной объективной информации о выполнении упражнения или действия для использования после завершения процесса выполнения.

7. Объективизация и обогащение информации самоконтроля выполнения упражнений и действий для использования в самом процессе выполнения.

Основная область применения КБА в спортивной педагогике включает в себя: а) спортивные соревнования, б) организованные тренировки спортсменов под руководством тренеров, в) организованные групповые самостоятельные тренировки спортсменов, г) индивидуальные тренировки спортсменов в порядке самоподготовки, д) учебно-тренировочные занятия по физическому воспитанию физкультурной направленности, е) самостоятельные занятия физкультурой в плане самосовершенствования, а также поддерживающей физкультурой. Кроме того, КБА может быть успешно применен в педагогических целях и за пределами спортивной сферы: в искусстве, профессиональной подготовке, военной подготовке, восстановительной медицине.

В заключение целесообразно отметить принципиальные изменения, которые влечет за собой серьезное регулярное применение КБА. 1. Объективизация суждений и потому повышение эффективности тренировки. 2. Повышение доли сознательного в обучении, что влечет за собой повышение творческой активности спортсменов и их самостоятельности. 3. Преобразование двигательного самоконтроля: частичное его переориентирование на другого рода сенсорную информацию и на другую интерпретацию сенсорных сигналов. 4. Воспитание в спортсмене вдумчивости, аналитичности, точности и ответственности умозаключений. 5. Повышение специальных познавательных и коммуникативных возможностей спортсменов и тренеров.

I. ОБЩИЕ ОСНОВЫ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

I.1. СПОРТИВНОЕ УПРАЖНЕНИЕ

I.1.1. Упражнение как система движений и действий

Физическое упражнение как система. Чтобы успешно анализировать процесс выполнения физического, а тем более спортивного упражнения, необходимо ясно понимать особенности его состава и структуры, а также закономерности, определяющие их целесообразность вообще и применительно к тем или иным конкретным ситуациям в частности. В связи с этим рассмотрим некоторые общие положения теории спортивной техники, относящиеся к данной теме. Схема 1 иллюстрирует излагаемый материал.

Как правило, отдельное суставное движение (однонаправленное движение в одном суставе) само по себе еще не представляет самостоятельного действия. Двигательное действие, посредством которого человек решает ту или иную двигательную задачу, почти всегда состоит из множества суставных движений, распределенных и взаимосвязанных в пространстве и во времени. Следовательно, для того, чтобы анализировать двигательные действия, нужно знать хотя бы основные свойства систем движений¹.

При прочих равных условиях система движений тем сложнее, чем больше отдельных движений входит в ее состав и чем они разнообразнее.

Система всегда обладает свойствами, которых нет у ее взятых порознь составных частей².

¹ См. Д. Донской «Биомеханика с основами спортивной техники», гл. IV. М., ФизС, 1971.

² Эти свойства называют *эмерджентными*, т. е. новыми, возникающими, появляющимися, свойствами, которых не было.

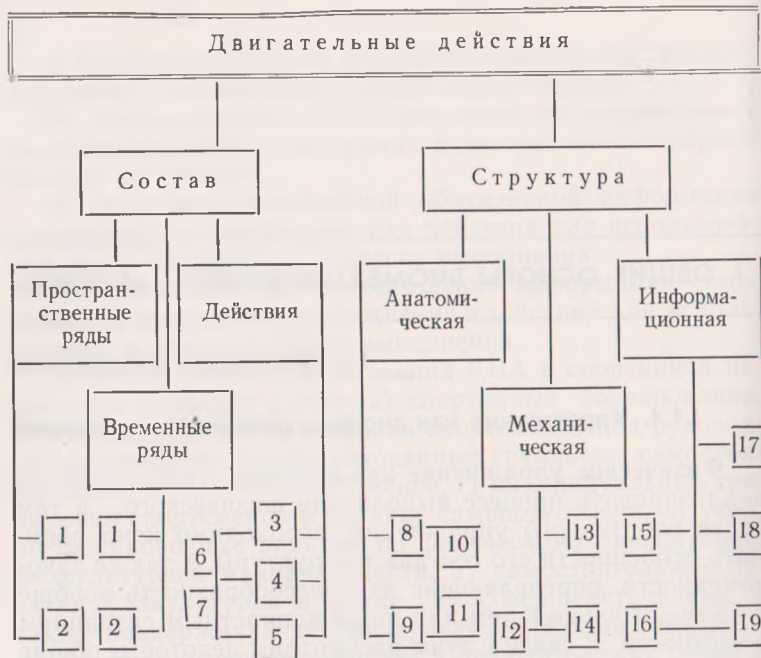


Схема 1. Упражнение как система движений и действий:

1 — суставные движения, 2 — сложные, 3 — подготовительные действия, 4 — основные, 5 — завершающие, 6 — энергообеспечивающие, 7 — формообразующие, 8 — симметричная структура, 9 — асимметричная, 10 — локализованная, 11 — генерализованная, 12 — кинематическая, 13 — динамическая, 14 — ритмическая, 15 — оценки ситуации, 16 — активной афферентации, 17 — двигательного программирования, 18 — внешней ориентации, 19 — внутренней ориентации

Чем теснее связь между движениями как частями или элементами системы, тем больше ее свойства (при прочих равных условиях) отличаются от простой совокупности свойств отдельных движений и тем важнее учитывать эти отличия.

Чем теснее взаимосвязь движений в системе, тем она обычно (при прочих равных условиях) сложнее.

Чем строже связи (т. е. чем уже диапазон допустимой их вариативности) между движениями как элементами (частями) системы, тем сложнее обычно система в реализации.

Особенности системы движений во многом зависят от характера предъявляемых к ней требований: либо наи-

большей энергетической экономичности, либо максимальной быстроты движений, либо заданной их формы, ритма, либо адекватности системы меняющейся ситуации и т. д.

Система движений обычно содержит относительно самостоятельные части (подсистемы), которые могут быть сходными или различными по характеру. Связи между отдельными движениями подсистемы теснее, чем связи между движениями из разных подсистем или связи между подсистемами.

В системе движений (как и в ее подсистемах) различают пространственные и временные элементы. *Пространственные элементы системы* — это суставные движения. Они могут выполняться одновременно в нескольких суставах — тогда речь идет о совокупности пространственных элементов системы движений в какой-то момент времени и налицо их *одновременный*, или *пространственный*, ряд. Те же суставные движения, но рассматриваемые в их временной последовательности, в развертывании системы движений во времени, представляют собой *временные элементы*. В одном суставе могут быть последовательно выполнены несколько движений — тогда налицо их *последовательный*, или *временной*, ряд. Различные комбинации одновременных (пространственных) и последовательных (временных) рядов — это *пространственно-временные комплексы движений*. Такой комплекс, решающий какую-то самостоятельную часть общей двигательной задачи, составляет содержание фазы двигательного действия или упражнения. Фазы следуют одна за другой, так что представляют собой временные компоненты, а совокупность их, в свою очередь, — временной ряд, только более высокого порядка (например, фаза отталкивания, фаза группировки, фаза амортизации приземления).

Сложность системы, как это следует из сказанного, определяется не только ее составом (пространственными и временными элементами), но и структурой. Структура системы движений — это организованная совокупность основных закономерностей, определяющих взаимосвязи между подсистемами различного ранга, между элементами внутри подсистем. Структура системы тоже система, но только иного рода, а именно система основных отношений, взаимосвязей. Можно, наконец, дать и другое, упрощенное, определение: структура системы — это схе-

ма способа взаимосвязи между составляющими ее частями и элементами. Устойчивые изменения состава и структуры системы движений определяют ее развитие.

Следует различать *анатомическую, механическую и информационную* структуры двигательного действия. Первая — это система пространственных и временных отношений, связывающих функции различных звеньев и участков тела в данном действии (имеется в виду лишь сам факт и общий характер этого участия, а не его механические характеристики), система согласования участия различных частей, звеньев и участков тела как анатомических объектов в решении двигательной задачи.

Механическая структура двигательного действия включает в себя кинематическую структуру (относящуюся к взаимосвязям положений, траекторий, темпов, ритмов, скоростей ускорений) и динамическую (отражающую основные взаимосвязи сил тяги мышц, силовые взаимодействия звеньев тела — между собой и с другими телами). Иногда удобно особо выделять и ритмическую структуру — структуру временных отношений каких-то выбранных факторов, — хотя это и не вполне строго.

Информационная структура двигательного действия отражает отношения между наиболее существенными элементами информации, так или иначе связанными с управлением заданными действиями, с самой постановкой двигательных задач и отысканием их решения, отражает процессы восприятия и переработки (преобразования) элементов информации. Внутри информационной структуры часто оправданно деление на более узкие структуры (см. схему 1).

Действия как компоненты упражнения. В общей двигательной задаче, решаемой при выполнении упражнения, различают более узкие, последовательно связанные задачи, каждая из которых представляет собой относительно самостоятельную часть общей. Решения таких «подзадач» в процессе выполнения упражнения Н. А. Курьеров назвал действиями¹. Различают три вида действий: *основные*, которые составляют как бы ядро упражнения, определяющее его сущность, отличающее его от других упражнений; *подготовительные*, предшест-

¹ Термин «действия» не вполне удачен, так как слишком похож на термин «двигательные действия». Тем не менее он является общепринятым.

яющие основным, задача которых создать наиболее благоприятные исходные условия для выполнения основных действий (удобное исходное положение, оптимальное состояние мышц, которым предстоит главная работа, необходимый предварительный запас энергии тела, отдельных его звеньев, метательного снаряда и т. д.); *завершающие*, которые должны, как это ясно из самого термина, обеспечить завершение упражнения в соответствии с поставленной двигательной задачей. Кроме того, если сразу вслед за одним упражнением следует другое, завершающие действия должны обеспечить оптимальный переход к выполнению его подготовительных действий¹. Часто в каждом из трех названных видов действий бывает целесообразно различать в соответствии с решаемыми задачами *энергообеспечивающие* и *формообразующие* (или формирующие)² действия. В результате первых тело получает необходимую для решения двигательных задач кинетическую энергию (поступательного и вращательного движений), в результате вторых движения и позы приобретают необходимую форму (последняя задача особенно четко стоит при выполнении упражнений, например, в спортивной гимнастике). Энергообеспечивающие и формирующие действия иногда четко укладываются в последовательные временные интервалы, выполняются сначала одно, потом другое. Но иногда одно и то же движение служит решению обеих задач: энергообеспечению и формообразованию.

Расчлняя любое упражнение на компоненты — действия, призванные решать самостоятельные, но последовательно связанные части общей двигательной задачи, — и устанавливая принципы их взаимосвязей, мы тем самым определяем *общую функциональную структуру выполнения упражнений*.

1.1.2. Управляющие движения

В ряде видов спорта выполнение значительной части упражнений в своей основе обеспечивается небольшим

¹ Эта схема, привлекательная своей простотой и полезная в большинстве случаев, к некоторым двигательным действиям применима лишь в значительно усложненном виде.

² «Теория и методика гимнастики». Под общ. ред. В. И. Филипповича. М., «Педагогика», 1971.

числом стандартных движений. Правильно применив те из них, которые необходимы в данном конкретном случае, спортсмен обеспечивает (как минимум вчерне) выполнение двигательного действия. В. Т. Назаров (см. «Упражнения на перекладине», М., ФиС, 1973; «Основы спортивной гимнастики», Рижский политех. ин-т, 1975) предложил ввести в спортивную теорию термин «управляющие движения», различая «главные управляющие движения» и «корректирующие управляющие движения»¹. Это о главных говорилось, что без них не будет выполнено упражнение. Задача же корректирующих — компенсация неточностей и ошибок, оказавшихся в главных движениях. Кроме того, корректирующие управляющие движения облегчают выполнение двигательных действий, делают их лучше в зрелищном отношении и т. д. Применение этих понятий и терминов в биомеханике является прогрессивным шагом. Однако представляется целесообразным терминологически четко разделить принципиально различные по решаемым задачам управляющие движения: те, задача которых облегчить выполнение упражнения, улучшить его, видимо, следует называть вспомогательными, те, которые решают задачу коррекции, — корректирующими.

Задача управляющих движений — реализовать поставленную программу действий. Хотя кинематика и динамика двигательных действий в большинстве случаев теснейшим образом взаимосвязаны, обычно можно отдельно говорить об их кинематическом компоненте², который может быть в первом приближении расчленен на 3 составные части: на программу поступательного перемещения тела (т. е. перемещения его ц. т.), программу вращательного движения тела, программу изменения позы (В. Т. Назаров).

Заметим, что активные действия по программам по-

¹ В. Т. Назаров предлагает и другие термины для обозначения этих понятий: *основные* и *вспомогательные суставные движения*. Но эти термины представляются не вполне удачными.

² В упражнениях ряда видов спорта (спортивная гимнастика, фигурное катание на коньках, прыжки в воду) кинематический компонент программы движений заранее строго задан, его реализация является главной задачей действия, и динамика лишь средство ее решения. Видимо, именно в связи с этим В. Т. Назаров пишет о членении вообще программы движений, а не ее кинематического компонента.

ступательного («программа места») и вращательного («программа ориентации») движений осуществляются в соответствии с «программой позы»: именно в результате активного изменения позы спортсмен взаимодействует с окружающими телами, т. е. вызывает появление внешних сил, а также оказывается в состоянии изменить ориентацию тела (на основе закона о сохранении кинетического момента). Впрочем, изменять позу можно и решая другие задачи, причем это совсем не обязательно должно влиять на программы поступательного и вращательного движений.

Программа позы может состоять и в том, чтобы поза сохранялась неизменной (или неизменной для большей части тела) — так нужно для успешного выполнения ряда упражнений, причем не только статических, где это само собой разумеется, но и динамических («динамическая осанка» по В. Т. Назарову). Сохранение динамической осанки позволяет упростить решение двигательной задачи, способствует стабилизации выполнения упражнения.

Наряду с управляющими движениями, обеспечивающими механическую сторону двигательных действий, спортсмены выполняют еще два типа движений, решающих совсем иную задачу. Их можно назвать *безразличными* (имея в виду механические характеристики действия) и *тактическими* движениями. Первые включают в себя движения, несущие эстетическую нагрузку, и случайные движения. Вторые — это обманные, дезинформирующие противника движения (единоборства, спортивные игры) и движения, направленные на обеспечение эффективной самостраховки в случае необходимости; цель их — повысить надежность выполнения (гарантировать от неудачи).

Схема 2 резюмирует сказанное на стр. 18—21.

Вернувшись к вопросу об управляющих движениях, надо обратить внимание на следующее. Их выделение очень существенно с педагогической точки зрения, поскольку, во-первых, подчеркивает (а нередко и помогает выявить) общие черты в биомеханической структуре ряда порой весьма непохожих двигательных действий, а, во-вторых, — нацеливает занимающихся на осознаваемое активное управление своими двигательными действиями. Это должно быть особенно полезным при программированном обучении.

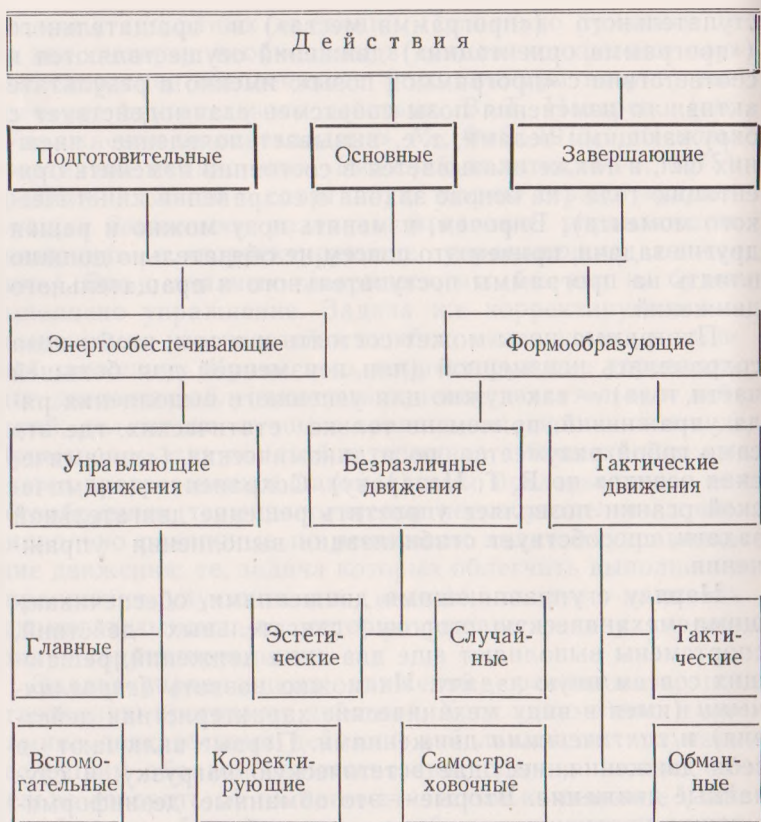


Схема 2. Состав действий

1.1.3. Типология действий в спортивных упражнениях

В биомеханике существует классификация видов спорта по характеру преимущественно присущей им двигательной деятельности¹: 1) со стабилизацией кинематической структуры (жестко заданы форма и кинематический характер движений); 2) со стабилизацией динамической структуры (задача — достигнуть максимального количественно измеряемого результата); 3) с varia-

¹ Д. Донецкой. Биомеханика с основами спортивной техники. М., ФИС, 1971.

тивностью спортивных действий (задача — обеспечить наилучший эффект в непредсказуемо меняющихся условиях). Существует и классификационное деление движений. Их делят на 5 основных групп¹: сохранение положения тела, движения на месте, движения вокруг оси, локомоторные движения, перемещающие движения.

Обладая рядом достоинств, эти классификации не лишены и недостатков. Так, например, к группе видов спорта со стабилизацией кинематической структуры относят гимнастику, акробатику, фигурное катание на коньках и т. п. Между тем двигательные действия в упражнениях этих видов спорта чрезвычайно разнообразны и содержат компоненты, дающие право определять их как «упражнения со стабилизацией динамической структуры». То же относится к видам спорта второй и третьей групп. Кроме того, характеристики групп чрезвычайно общи и потому недостаточно говорят о конкретных особенностях двигательных действий.

Поскольку для целей анализа упражнений нужны по возможности более конкретные качественные характеристики типов действий, поскольку интерес представляют главным образом не общие двигательные оценки видов спорта и не формальные механические приметы движений, а их педагогико-биомеханический аспект, постольку для эффективного качественного биомеханического анализа (КБА) упражнений необходимо в первую очередь принимать в расчет *особенности решаемых двигательных задач и особенности действий*, причем наряду с механическими особенностями управленческие особенности. Исходя из этого, представляется целесообразным разделение основных спортивных двигательных действий (независимо от вида спорта) на 12 типов: 1) силовые статические и парастатические², 2) сохранение устойчивости

¹ Д. Допской. Биомеханика с основами спортивной техники. М., ФизС, 1971.

² Парастатические действия основаны на очень медленных движениях (например, дожимание из креста в упор либо отпускание из упора в крест), когда мышцы работают в режиме, близком по характеру к изометрическому. Применение в этом смысле термина «квазистатический» представляется неудачным по двум причинам: 1) часть «квази» придает термину неподходящее значение «мнимый», «ложный»; 2) термин «квазистатический» давно применяется в физике, но имеет другое содержание, соответствующее скорее режиму стабилизации суставных углов (см. стр. 110), т. е. режиму, в биомеханике называемому статическим.

тела, 3) повороты, 4) безопорные и опорные переворачивания, 5) динамические упражнения с основной опорой руками, 6) локомоции, 7) прыжки¹, 8) соскоки, 9) броски снарядов, 10) ловля тел, 11) взаимодействия с партнером или противником, 12) управление техническим средством передвижения.

К сожалению, приведенное деление во многом условно, хотя в ряде случаев может оказаться полезным. Условность при классификации целостных двигательных действий, видимо, неизбежна, поскольку они чаще всего включают в себя несколько частных действий, нередко весьма различных по характеру и задачам. На схеме 3 приведено классификационное деление частных действий, широко распространенных в спорте (всего выделяется 18 типов).

1. *Статические напряжения и парастатические действия* характерны не только для статических и парастатических упражнений спортивной гимнастики и акробатики, с ними приходится сталкиваться даже в быстрых динамических упражнениях (например, динамическая осанка, для сохранения которой многие мышечные группы работают в режиме статического напряжения, притом нередко значительного), в лыжном и конькобежном спорте, фигурном катании на коньках, фехтовании и т. д.

2. *Сохранение устойчивости тела* — частное действие, характерное для упражнений всех видов спорта (в пояснениях нет надобности).

3. *Изменение места взаимодействия с внешними телами*. Эти частные действия обычно сопряжены с изменением величин сил взаимодействия и их моментов относительно ц. т. тела. Зачастую важной задачей является быстрое установление функционально полноценной связи с внешними телами (опорой, партнером, противником). Обычно эти действия проводятся в условиях дефицита времени.

4. *Точностные действия*. К ним относятся броски снаряда с точным «адресом»: броски мяча в корзину (баскетбол) или в ворота (ручной мяч), прицельные удары (теннис, футбол, хоккей), стрельба из лука или огнестрельного оружия и т. п., а также действия другого под-

¹ К локомоциям следует относить лишь прыжки в длину, тройной и на лыжах с трамплина. Для остального множества прыжков задача существенного изменения расположения тела в пространстве не является главной, поэтому относить их к локомоциям не следует.

типа — приведение к цели рабочей точки тела (либо удерживаемого снаряда). В первом случае следует проводить экстраполяцию траектории полета снаряда по траектории его опорного перемещения, во втором — пе-



Схема 3. Классификация частных действий в спорте по типам

1—18 — типы частных действий, перечисленные в тексте; 19 — статические напряжения; 20 — действия парастатического характера; 21 — предотвращение потери устойчивости в стационарных равновесиях; 22 — то же, но в нестационарных равновесиях; 23 — восстановление устойчивости в стационарных равновесиях; 24 — то же, но в нестационарных равновесиях; 25 — перемена места взаимодействия с опорой; 26 — то же с партнером; 27 — то же с противником; 28 — точностные броски снарядов; 29 — поражение цели рабочей точкой тела или удерживаемого предмета; 30 — максимальные силовые воздействия на перемещаемые снаряды; 31 — то же, но на противника; 32 — махи звеньями тела; 33 — броски; 34 — удары; 35 — амортизация взаимодействия с опорой; 36 — амортизация контакта с перемещающимися телами; 37 — прыжки вверх с места; 38 — то же, с прыжка или с разбега; 39 — отталкивание руками; 40 — рывки руками; 41 — пассивные скольжения; 42 — активные скольжения; 43 — шаговые действия без фазы полета; 44 — бег; 45 — прыжки; 46 — опорные повороты; 47 — повороты с безопорной фазой; 48 — опорные переворачивания; 49 — безопорные переворачивания; 50 — управление телом при заданной программе движений в полете; 51 — то же без заданной программы; 52 — вращения тела вокруг несвободной оси в висе; 53 — то же в упоре

ремещения рабочей точки тела (удерживаемого снаряда) и цели, рассчитывая точку встречи довольно точно. В первом случае также нередко приходится экстраполировать перемещение цели, но требования к точности при этом ниже.

5. *Выразительные действия.* В ряде видов спорта большое значение имеют формирование и сохранение эстетически законченных, или выразительных, поз, выполнение тех или иных не несущих энергообеспечивающей функции так называемых выразительных движений, которые могут иметь большой или малый размах, выполняться мелкими или крупными звеньями тела, одним звеном или согласованно многими звеньями. В фигурном катании на коньках и в вольных упражнениях у женщин (художественная гимнастика, акробатика, спортивная гимнастика) выразительные действия играют особенно важную роль и тесно связаны с музыкальным сопровождением.

6. *Максимальные силовые воздействия на перемещаемые тела.* Здесь можно различить два принципиально различных случая: 1) воздействие на тяжелый снаряд (штанга, молот, ядро) или на партнера (акробатика, фигурное катание на коньках) и 2) воздействие на противника (борьба, хоккей, футбол). Взаимодействия могут быть краткими (толчок в хоккее, бросок в борьбе) и сравнительно длительными (метание молота, силовые приемы в борьбе, борьба за шайбу у борта в хоккее). Максимальные силовые воздействия часто смыкаются с баллистическими действиями, отличаясь от них главным образом меньшими конечными скоростями суставных движений в главной рабочей кинематической цепи и не столь быстро развиваемыми напряжениями мышц в начале движения. Нередко смыкаются они и с действиями парастатического характера.

7. *Баллистические действия.* Речь идет о частных действиях, сопряженных с баллистической работой мышц. Это быстрые, энергичные махи руками или ногами (например, хлесты ногами в упражнениях на перекладине), легкоатлетические метания легких снарядов, сильные неприцельные броски (броски, при выполнении которых превалирует задача сообщения снаряду высокой скорости, задача же попадания в цель отодвинута на второй план), сильные неприцельные удары по мячу, удары боксера.

8. *Амортизация мощных взаимодействий с другими телами.* Задача амортизации возникает чаще всего при приземлениях, но не только: в спортивных играх нужно остановить летящий мяч, в борьбе — парировать натиск противника, в спортивной гимнастике — смягчить рывок в висе и т. д. Порой ставятся и более тонкие задачи: амортизация при прохождении лыжником бугра на спуске (за счет сгибания ног) позволяет ему избежать невольного прыжка; амортизация при блокировании мяча (волейбол) позволяет избежать выхода его за пределы площадки противника.

9. *Отталкивание ногами.* К этим действиям относятся: большая часть прыжков в спортивных играх, прыжки в высоту, акробатические прыжки, прыжки на батуте, в воду, в фигурном катании на коньках, опорные прыжки, ряд прыжков в вольных упражнениях и на бревне, многие вскоки на гимнастические снаряды и др.

10. *Отталкивание и рывки руками.* Отталкивание руками для отдаления тела от опоры или для сообщения ему вращательного движения — частные действия, широко применяемые в спортивной гимнастике и акробатике. Энергичные рывки руками, цель которых — сообщить телу некоторое количество движения по направлению к месту хвата за снаряд, — сравнительно узкий круг действий в спортивной гимнастике.

11. *Скольжения.* Имеются в виду перемещения скольжением по льду, снегу и воде (на лыжах), а также по специальным скользким поверхностям. Следует различать активное и пассивное скольжение. Первое связано с наращиванием или поддержанием скорости активными движениями звеньев тела, второе — со скольжением по инерции или под действием внешних сил (под уклон на лыжах, за счет тяги катера — на водных лыжах).

12. *Плавание.* Одной из характерных особенностей плавания с точки зрения механики является использование нелинейного характера зависимости сопротивления воды перемещению тела от его скорости относительно нее. Другая характерная особенность — большое сопротивление водной среды движущемуся в ней телу спортсмена. И еще одна особенность — необходимость создания специальных условий, даже осложняющих двигательные действия, для обеспечения удовлетворительного дыхания. На все стили плавания, кроме вольного, распространяются жесткие кинематические ограничения, оп-

ределяющие дозволяемые формы движений и ориентации тела в пространстве.

13. *Шаговые действия.* К ним относятся любые виды ходьбы (в том числе танцевальные шаги в спортивных видах гимнастики, выпады) и бега, «далекие» прыжки отталкиванием одной ногой. Конечно, эти частные действия существенно различаются между собой, но основа с точки зрения биомеханики у них общая.

14. *Повороты.* К частным действиям этого типа относятся повороты (вращения тела вокруг его продольной оси), выполняемые на опоре (скажем, на носке или в стойке на руках), и такие повороты, которые в известной своей части происходят в безопорном состоянии, но в основном лишь в порядке продолжения поворота, начавшегося перед этим еще в опорном состоянии и за счет опорных взаимодействий.

15. *Переворачивания* — это действия, связанные с вращением тела вокруг горизонтальной оси (кроме опорных переворачиваний, отнесенных к вращениям тела вокруг несвободной оси). Эти действия особенно характерны для прыжков на батуте и прыжков в воду, для акробатики и спортивной гимнастики.

16. *Действия в длительном полете.* Поскольку траектория перемещения ц. т. тела в фазе полета predeterminedена предшествующими действиями, спортсмен может управлять только вращательным движением тела и позой. Управление ими — процессы, тесно взаимосвязанные: именно за счет движений звеньев тела друг относительно друга спортсмен управляет скоростями его вращения вокруг различных осей и ориентацией в пространстве. Действия в длительном полете обязательно сопряжены и с решением другой задачи: подготовкой условий для оптимального предстоящего контакта с опорой.

17. *Вращения вокруг несвободной оси.* Этот тип частных действий составляет основу большей части двигательных действий в упражнениях на гимнастических снарядах. Сюда включаются действия, связанные с вращением тела вокруг поперечной или переднезадней оси (независимо от величины поворота) при наличии связи рук со снарядом. Вращения вокруг вертикальной оси тела в данную группу действий не входят.

18. *Ситуационные действия.* Это очень широкий круг частных действий, связанных с реакциями на непредсказуемые ситуации. Такие действия иногда бывают необхо-

димы во всех видах спорта, например, при внезапно возникшей опасности травмы (условно — «действия SOS»). В ряде же видов спорта (единоборства, спортивные игры) они представляют собой значительную часть выполняемых действий. В видах спорта, связанных с движущимися техническими средствами (мотоциклетный, автомобильный, бобслей, парусный и др.), эти действия являются основными, поскольку роль работы мышц в энергообеспечении движения технического средства сводится к нулю (лишь на мотоцикле гонщик иногда вынужден помогать движению машины отталкиваясь ногами) и движения человека решают только задачу управления этим средством.

1.2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕХАНИКИ

1.2.1. Три закона механики (законы Ньютона)

1-й закон (закон инерции). *Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока какая-нибудь внешняя по отношению к нему сила не выведет его из этого состояния.* Здесь важно отметить, что это означает сохранение неизменным, если отсутствуют внешние воздействия, *вектора скорости* тела — как его величины (модуля), так и направления (ориентации). Векторная форма выражения величин очень удобна и наглядна, особенно при КБА. Следует также отметить, что какова бы ни была траектория тела, связанного так или иначе с другими телами, с момента разрыва связей оно будет перемещаться так, как если бы перед этим перемещалось равномерно прямолинейно со скоростью, вектор которой равен вектору скорости в заключительный момент разрыва связей.

2-й закон. *Ускорение тела пропорционально действующей на него внешней силе и направлено в ту же сторону:* $a = \frac{f_{\text{в}}}{m}$, где a — ускорение, $f_{\text{в}}$ — внешняя сила, действующая на тело, m — его масса. Как следует из приведенной формулы, коэффициент пропорциональности между a и $f_{\text{в}}$ равен $\frac{1}{m}$. Графической¹ векторной ил-

¹ Вектор может быть задан либо изображен графически, как это имеет место на рис. 1, но может быть задан либо описан и аналитически: по его параметрам в избранной системе координат.

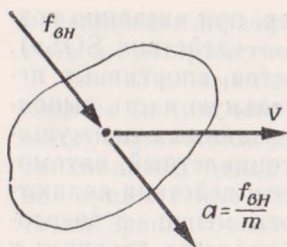


Рис. 1. Ускорение тела:
 $f_{вн}$ — внешняя сила, a — ускорение тела, v — исходная скорость тела

люстрацией такой формулировки этого закона (близкой к формулировке зависимости, открытой еще Галилеем, одним из тех, кого имел в виду Ньютон, говоря: «Я потому вижу так далеко, что стою на плечах гигантов») может служить рис. 1.

Сам Ньютон формулировал свой 2-й закон иначе. Он ввел понятия «импульс силы» (для случая, когда сила постоянна по величине и направлению, импульс силы равен произведению этой силы и времени ее действия; случай с переменной силой будет рассмотрен дальше) и «количество движения» (произведение массы тела на его скорость) и в этом законе сформулировал их равенство между собой: $f_{вн}\Delta t = \Delta(mv)$. Здесь $f_{вн}\Delta t$ — импульс силы за время $\Delta t = t_2 - t_1$, а $\Delta(mv) = m(v_2 - v_1) = \Delta K$ — изменение количества движений. Точнее говоря, Ньютон определил зависимость изменения скорости тела от величины действующей силы, но не прямо, а через понятие «количество движения»: *изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует*. Как видно, в определении говорится и о направлении приращения количества движения — эта величина также может быть выражена вектором.

Но как быть, если сила переменна по величине, оставаясь неизменной по направлению? В таком случае нужно найти среднюю в данном интервале времени силу и умножить ее величину на величину интервала — это и будет модуль вектора импульса силы или вектора приращения количества движения. Направление же этих векторов совпадает с направлением вектора силы (по условию неизменной по направлению). Записать это можно так: $L = K = f_{ср}\Delta t$. Однако не всегда просто определить $f_{ср}$ даже приблизительно (например, когда величина силы меняется нелинейно, т. е. не пропорционально времени, или когда она меняется многократно и неодинаково каждый раз). В такой ситуации помогает простой графический прием. Нужно вычертить график зависимости величины силы от времени (рис. 2). При этом следует

иметь в виду, что «площадь кривой», или «площадь под кривой», т. е. площадь, ограниченная кривой, ординатами, соответствующими началу и концу данного интервала, и осью абсцисс, численно равна импульсу силы (здесь имеет место графическое интегрирование силы по времени). А это значит, что задача нахождения f_{cp} сводится к нахождению ординаты такой прямой, параллельной оси абсцисс, площадь под которой (в данном интервале) равна площади под рассматриваемой кривой. Если не нужна большая точность, сделать это можно «на глаз», как и показано на рис. 2. При этом площадь фигур, лежащих над прямой (горизонтальная штриховка), должна быть равна площади фигур, лежащих под прямой (вертикальная штриховка).

Более сложен случай, когда сила меняется и по величине, и по направлению. Здесь, если исключить интегральное исчисление, есть несколько удобных способов определения импульса силы. Можно, например, разбить время действия силы на равные малые отрезки, на протяжении каждого из которых сила изменяется более или менее равномерно и не очень значительно, так что ее можно приблизительно верно изобразить вектором усредненного направления и величины. Если начала этих векторов соединить в одной точке (рис. 3, а), то нетрудно последовательным попарным их сложением найти вектор-равнодействующую (рис. 3, б), а разделив его на число векторов-слагаемых, получить вектор f_{cp} . На рис. 3, в показано, как можно иначе сложить векторы.

Другой способ определения импульса силы заключается в следующем. Силу нужно разложить на ортогональные (т. е. расположенные под прямым углом друг к другу) составляющие. Затем, построив графики этих составляющих по времени (рис. 4, а, б), найти их средние величины за рассматриваемый отрезок времени. После этого вычислить составляющие соответствующих импульсов силы, по которым найти общий импульс: в векторной

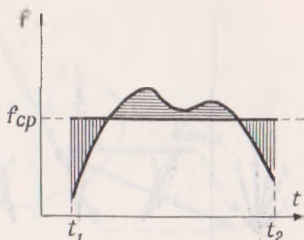


Рис. 2. Графическое определение импульса силы:

f — действующая на тело сила,
 f_{cp} — ее среднее значение на заданном интервале времени,
 t_1 и t_2 — соответственно начальный и конечный моменты (т. е. границы) заданного интервала времени

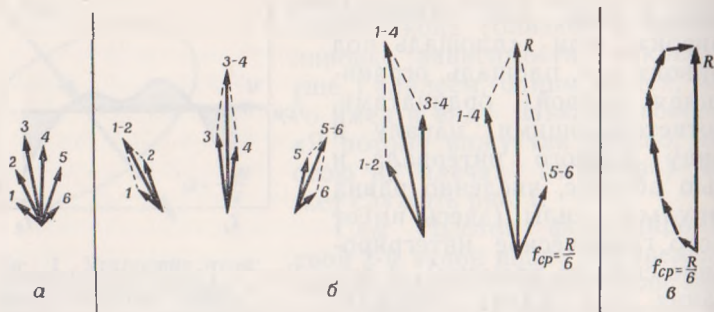


Рис. 3. Отыскание средней силы: R — вектор-сумма, представляющий собой равнодействующую векторов-слагаемых, $f_{cp} = \frac{R}{6}$ — средняя сила, действующая в рассматриваемом интервале

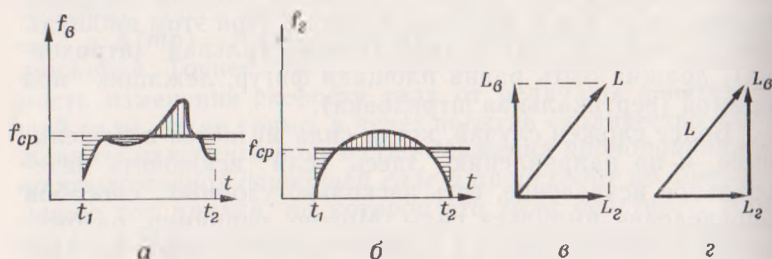


Рис. 4. Нахождение импульса по ортогональным составляющим: $f_{в}$ — вертикальная составляющая силы, $f_{г}$ — горизонтальная составляющая силы, f_{cp} — среднее значение рассматриваемой составляющей силы в данном временном интервале, t_1 и t_2 — соответственно начальный и конечный моменты заданного интервала времени действия силы, L — полный импульс силы, $L_{в}$ и $L_{г}$ — соответственно его вертикальная и горизонтальная составляющие

форме — это диагональ прямоугольника, построенного на векторах-составляющих (рис. 4, в) или гипотенуза прямоугольного треугольника (рис. 4, г), в числовых значениях — корень квадратный из суммы квадратов импульсов-составляющих.

Здесь следует напомнить, что для нужд КБА вполне достаточно весьма грубых приближений при расчетах. Поэтому и в описываемых случаях обычно «прикидывают» величину и направление действующей силы. Иные, более сложные, ситуации бывают при сравнительном

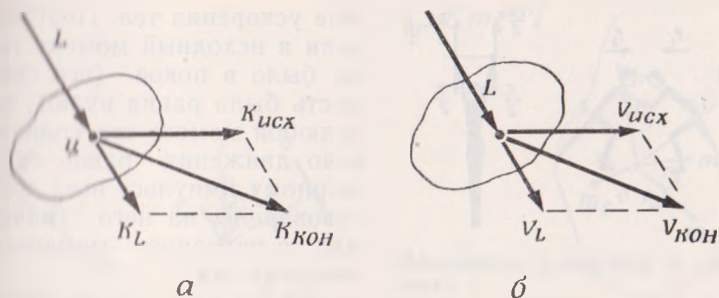


Рис. 5. Изменение количества движения:

L — импульс силы, $K_{исх}$ и $K_{кон}$ — исходное и конечное количество движения тела, K_L и v_L — изменения количества движения и скорости тела под действием импульса силы, $v_{исх}$ и $v_{кон}$ — исходная и конечная скорости тела

анализе (т. е. анализе различия между однородными объектами), когда подчас приходится более тонко учитывать механические параметры движений и особенно характер их изменения. Но об этом речь пойдет позже.

Второй закон механики провозглашает равенство изменения (или, как говорят в механике и математике, приращения) количества движения тела воздействию на него импульсу силы. Это приращение — векторная величина, как и само количество движения. Так как масса тела — величина, не имеющая направления, то скорость тела ($v = \frac{K}{m}$) и приращение ее ($\Delta v = \frac{\Delta K}{m}$) выражаются такими же по направлению и пропорциональными по модулю векторами, что и K или ΔK . Это показано на рис. 5, а и б. Там же показано, какими становятся после изменения количество движения и скорость тела.

Если на тело последовательно воздействовали несколько внешних сил, все соответствующие импульсы векторно суммируются, т. е. суммарный импульс силы получается сложением векторов последовательно действовавших импульсов (так называемое геометрическое сложение). То же можно сказать и о результате одновременного действия нескольких сил: их импульсы суммируются так же. Это называется принципом независимого действия (или принципом суперпозиции), который распространяется и на импульсы сил, и на скорости, и на линей-

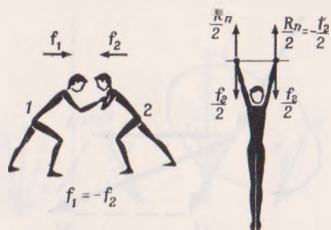


Рис. 6. Действие и противодействие

f_1 и f_2 — силы действия первого борца на второго и второго на первого, $f_г$ — сила действия гимнаста на гриф перекладины, $R_г$ — сила действия (реакция опоры) грифа перекладины на гимнаста

ные ускорения тел. Поэтому если в исходный момент тело было в покое (его скорость была равна нулю), то в любой момент его количество движения равно суммарному импульсу всех действовавших на него (начиная с исходного момента) внешних сил.

3-й закон. *Силы, с которыми два тела действуют друг на друга, всегда равны по абсолютной величине (по модулю) и противоположны по направлению, т. е. действию всегда есть равное и*

противоположное противодействие (рис. 6). Здесь стоит разве что напомнить, что действующая и противодействующая силы приложены к разным телам.

Заканчивая рассмотрение основных законов поступательного движения, необходимо упомянуть об одном из так называемых законов сохранения — фундаментальных законов механики — о законе сохранения количества движения. Закон этот, вообще говоря, представляет собой следствие 1-го закона механики, а читается так: *если на тело не действуют никакие внешние силы, его количество движения остается неизменным.* В свою очередь, следствием из закона сохранения количества движения является закон сохранения движения ц. т. тела (точнее, центра масс, что практически то же самое): оно остается неизменным, если на тело не начинает действовать новая внешняя сила и не меняются ранее действовавшие силы.

1.2.2. Основные законы вращательного движения

Выше речь шла о законах поступательного движения. Между ними и законами вращательного движения имеется бросающийся в глаза параллелизм.

Если причиной изменения поступательного движения является сила, то причиной изменения вращательного движения является момент силы, равный произведению силы на плечо ее приложения, т. е. на расстояние между

$$J_0 = \sum m_i \cdot r_i^2$$

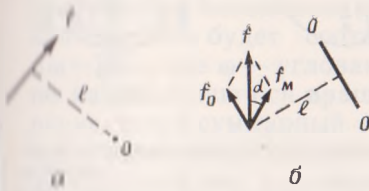


Рис. 7. Момент силы:

F — действующая сила, l — плечо силы F , O — проекция оси вращения OO на плоскость чертежа (они взаимно перпендикулярны), F_M — компонент силы F , создающий момент, F_0 — компонент, не создающий момента

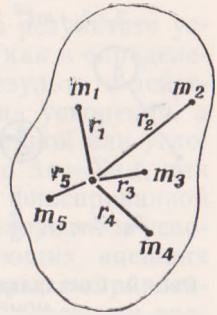


Рис. 8. Момент инерции тела:

r — расстояния точек тела от оси O (каждой точке тела соответствует r определенной величины)

линейной действия силы (прямой, на которой лежит ее вектор) и осью вращения (рис. 7, а). Однако следует оговориться: так определяется момент силы, когда линия ее действия лежит в плоскости, перпендикулярной к оси вращения. В противном случае нужно найти проекцию силы на эту плоскость (рис. 7, б). Искомую проекцию (F_M) определяют умножением силы на косинус угла между линией действия силы и ее проекцией на упомянутую плоскость (на рис. 7, а, угол α). Другая составляющая силы (F_0) параллельна оси OO и потому не создает относительно нее вращающего момента. В безопорном состоянии тело вращается всегда вокруг оси, проходящей через его центр масс. Поэтому любая сила, линия действия которой не проходит через ц. т. тела, создает вращающий момент относительно одной из центральных осей, т. е. относительно оси, проходящей через ц. т. тела. Сила, линия действия которой проходит через ц. т. тела, момента не создает, так как ее плечо равно нулю.

При поступательном движении тела его инерция измеряется массой, а при вращательном — моментом инерции, равным сумме произведений массы каждой из элементарных частичек тела на квадрат ее расстояния от оси вращения: $I_0 = \sum m_i r_i^2$ (рис. 8). Линейные размеры тела входят в эту формулу в квадрате, поэтому можно утверждать, что любое их изменение сильно сказывается

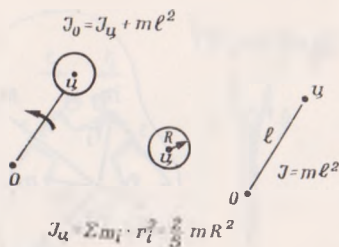


Рис. 9. Составляющие осевого момента инерции:

I_0 — момент инерции шара относительно оси вращения O , I_u — момент инерции шара относительно центральной оси, l — расстояние от оси вращения O до ц.т. шара ц, m — масса шара, R — его радиус

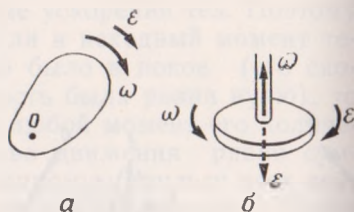


Рис. 10. Угловые скорость и ускорение:

O — проекция оси вращения тела на плоскость рисунка, ϵ — угловое ускорение, ω — угловая скорость

на величине момента инерции. Момент инерции тела относительно фиксированной оси вращения можно разделить на два слагаемых (рис. 9): на момент инерции тела относительно центральной оси, параллельной данной, и на момент инерции точечной массы, равной массе тела и расположенной в месте его о. ц. т. относительно данной оси. Это формула Гюйгенса (обычно ее ошибочно называют формулой Штейнера). Аналитически она записывается так: $I_0 = I_{ц} + ml^2$, где $l = OЦ$. Такое представление момента инерции позволяет яснее увидеть, как он меняется в зависимости от изменения взаимного расположения звеньев тела или расстояния ц. т. тела от оси вращения.

Линейному ускорению a (поступательное движение) во вращательном движении соответствует угловое ускорение, которое принято обозначать символом ϵ (а на рисунках для наглядности — дугообразной стрелкой, как и момент силы, см. рис. 10, а). Момент силы, угловое ускорение и момент инерции тела связаны между собой формулой $M = I\epsilon$, которая аналогична формуле $f = ma$ (2-й закон механики).

Как и сила, ускорение (и линейное, и угловое) может изменяться по величине и по направлению. Формула $\Delta v = at$ годна только для тех случаев, когда ускорение постоянно, неизменно. В спортивных движениях такая ситуация (даже в грубом приближении) встречается крайне редко (если не считать свободного падения тела). По-

Этому определению изменения скорости в результате ускорения следует проводить точно так же, как и определению изменения количества движения в результате действия силы. Если меняется только величина ускорения, а направление неизменно, приращение линейной или угловой скорости будет соответственно равно $\Delta v = \sum a_i t_i$ или $\Delta \omega = \sum \epsilon_i t_i$, где ω — угловая скорость. При фиксированной по направлению оси вращения угловая скорость и ускорение, как и суммарный (от всех действующих внешних сил) момент, представляют собой векторы, направленные по этой оси, т. е. перпендикулярно к плоскости вращения тела (рис. 10, б).

Количеству движения и импульсу силы в поступательном движении тела во вращательном движении соответствуют момент количества движения (или кинетический момент) и момент импульса (или импульс момента) $K = mv$, а $Q = I\omega$, где Q (кинетический момент) соответствует K , I соответствует m , ω соответствует v . Из закона сохранения количества движения соответствует закон сохранения кинетического момента: *кинетический момент тела остается неизменным, если суммарный момент всех действующих на это тело сил равен нулю*. Оба эти закона чрезвычайно важны для КБА.

При анализе спортивных упражнений приходится часто сталкиваться с движениями, которые с известной долей приближения можно считать происходящими в одной плоскости. В механике такие движения называют плоскими. Они подчиняются более простым законам, чем пространственные (происходящие во всех трех измерениях). При плоском движении ось вращения тела всегда расположена перпендикулярно к рассматриваемой плоскости. Моменты сил независимо от того, к каким точкам тела они приложены, алгебраически суммируются. Все действующие на тело силы (за исключением одного случая — пары сил, — о котором речь пойдет дальше) легко сводятся к равнодействующей простейшим графическим построением: попарным приведением их к точке (продолжением их линии действия до пересечения) — это показано на рис. 11, а. На нем видно также, что точка приложения равнодействующей может лежать за пределами тела. При этом ее момент относительно ц. т. тела довольно велик. Как же будет под действием обозначенных сил двигаться тело? Чтобы узнать это, нужно произвести «приведение силы к точке» или «параллельный перенос

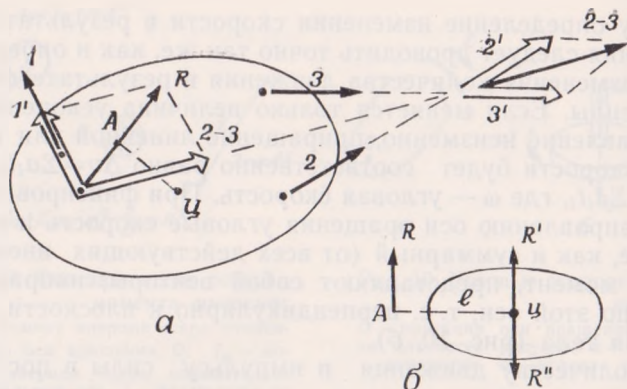


Рис. 11. Определение момента системы сил:

R — равнодействующая действующих на тело сил, ζ — центр тяжести тела, $l = A\zeta$ — плечо силы R относительно него, R' и R'' — силы, равные по модулю R ($R' = R = -R''$)

силы» (рис. 11, б). Получится система сил, эквивалентная данной (т. е. равнодействующей R), поскольку прибавлены две равные, противоположно направленные и приложенные к одной точке силы, равнодействующая которых, как и момент, равна нулю. Эту новую систему можно рассматривать как приложенную к ц. т. тела силу R' и пару сил RR'' .

Пара сил — особый случай плоской системы сил, у этих сил нет равнодействующей. Пара сил не сообщает телу поступательного движения, она действует только как вращающий момент. Пара сил — это две антипараллельные равные по

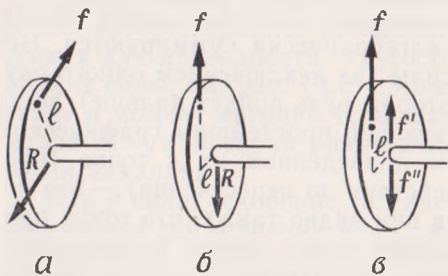


Рис. 12. Пара сил:

f — сила, действующая на тело, R — реакция оси, l — плечо момента пары fR

величине силы, приложенные к разным точкам. Она возникает всегда, когда вращение тела происходит вокруг закрепленной оси: если к телу, имеющему закрепленную ось, приложена какая-либо внешняя сила, в месте закрепления оси возник-

вает реакция опоры, равная данной силе по величине и противоположная ей по направлению (рис. 12, а, б). В самом деле, не будь указанной реакции, все тело должно было бы перемещаться по направлению приложенной силы f , что следует из рис. 12, в, где показана операция приведения силы к точке: вращающий момент пары ff'' поворачивает маховик, сила f' должна перемещать его (она-то и вызывает появление реакции опоры со стороны закрепленной оси).

1.2.3. О кинематических характеристиках движения

Путь тела при поступательном движении измеряется в единицах длины, при вращательном движении — в радианах или в градусах, т. е. в угловых мерах. В формулу пути, если движение переменное, входит ускорение. Но ускорение в подавляющем числе случаев спортивной практики изменяется по величине и направлению. Поэтому приходится рассматривать проекции пути на все три координатные оси. Однако при анализе спортивных упражнений, как уже говорилось, движения можно считать плоскими, так что достаточно изучать проекции пути на две координатные оси. Кроме того, нередко интерес представляет только одно направление — скажем, горизонтальное или вертикальное. Тогда достаточно определить проекцию на соответствующую ось. Формула для проекции: $S = v_{x0}t + \sum_{t_1}^{t_2} a_{xi} = t_i^2$, где v_{x0} — проекция на ось X исходной скорости тела, \sum — знак суммирования за интервал времени от t_1 до t_2 , a_{xi} — проекция на ось X ускорения в i -тый момент времени (момент t_i). Формулу можно упростить: $S = v_{x0}t + a_{xcp}t^2$, где a_{xcp} — проекция на ось X среднего за рассматриваемый интервал времени ускорения (его обычно нетрудно приблизительно определить). Так же определяются проекции пути на другие оси, если в этом есть необходимость.

Бывают условия, в которых подсчет пути более прост. Например, в безопорной фазе горизонтальное перемещение тела равно (если ось X горизонтальна) произведению $v_x t$, поскольку горизонтальное ускорение отсутствует. Другой пример: высота подъема в фазе полета равна $v_y^2/2g$, где v_y — проекция на ось Y (т. е. вертикальная составляющая) начальной скорости полета тела (скорости

вылета), g — ускорение, создаваемое полем земного тяготения, равное $9,8 \text{ м/с}^2$ (округленно — 10 м/с^2).

Путь при вращательном движении тела определяется аналогично: $\theta = \omega_0 t + \sum_{t_1}^{t_2} \varepsilon_i t^2_i$, где θ — угол поворота тела, ω_0 — угловая скорость тела в начальный момент рассматриваемого интервала времени, ε_i — угловое ускорение в интервал времени t_i . В безопорной фазе $\theta = \omega_0 t$. Следует заметить, что вторая формула годится для тела неизменной формы, т. е. если говорить о теле спортсмена при неизменной позе. При перемене позы угловая скорость изменяется и в фазе полета, когда внешние силы к телу не приложены, так что приходится применять эту формулу в виде $\theta = \sum \omega_i t_i$. Изменение угловой скорости при перемене позы — следствие закона сохранения кинетического момента: из формулы $Q = I\omega$ следует, что при неизменном Q во сколько раз уменьшится I , во столько же раз увеличится ω , и наоборот.

При анализе спортивных упражнений чаще всего удобно и целесообразно разлагать силу, скорость, ускорение, путь или перемещение на их вертикальные и горизонтальные составляющие.

Существует простой способ найти величину скорости в любой момент, используя график перемещения по времени, либо величину ускорения с помощью графика скорости по времени — способ графического дифференцирования. На рис. 13 показаны график перемещения (а) и график скорости (б). Проводя касательную в той точке графика перемещения, которая соответствует интересующему нас моменту времени, получаем прямую, так или иначе ориентированную в пространстве. Выбираем отрезок на оси абсцисс, соответствующий целому числу единиц времени, и определяем разность между конечной и начальной ординатами касательной в данном интервале. Поделив эту разность на число секунд в выбранном интервале, получим значение скорости. На графике скорости показаны пять касательных. Если разность между конечной и начальной ординатами положительная (касательные 2, 3), то скорость на этом участке возрастает, т. е. ускорение положительно, совпадает по направлению со скоростью. Если разность отрицательна (касательная 5), то ускорение отрицательно, т. е. направлено противоположно скорости. Когда касательная горизонтальна, в данной точке скорость или ускорение (касательные 1, 4)

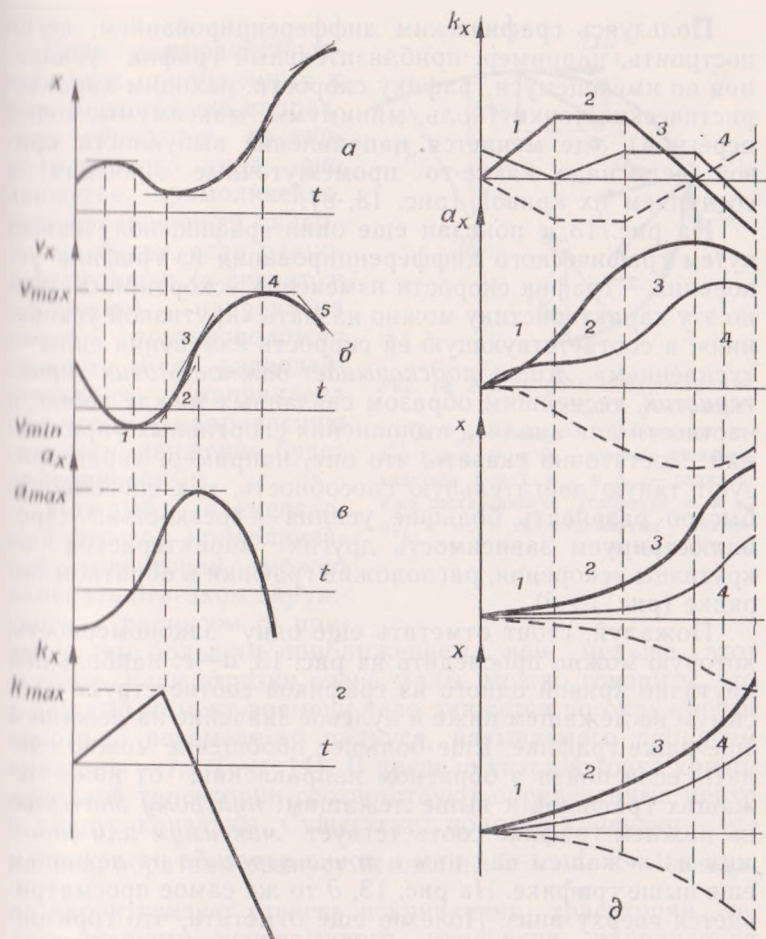


Рис. 13. Взаимосвязь кинематических характеристик:

x — координата по оси X , v_x — проекция скорости на ось X , a_x — проекция ускорения на ось X , k_x — проекция крутизны ускорения на ось X

ришны нулю. Данный прием часто используют для нахождения экстремумов (т.е. максимума или минимума) скорости (по пути) или ускорения (по скорости). Другая распространенная задача, решаемая этим приемом, — нахождение на графике перемещения или скорости точек, в которых соответственно скорость или ускорение достигают нуля, максимума или минимума, а также точек перегиба кривой.

Пользуясь графическим дифференцированием, легко построить, например, приблизительный график ускорения по имеющемуся графику скорости: находим характеристические точки (ноль, минимумы, максимумы, точки перегиба), где меняется направление выпуклости кривой (если надо, какие-то промежуточные значения) и соединяем их кривой (рис. 13, в).

На рис. 13, г показан еще один график, полученный путем графического дифференцирования из графика ускорения — график скорости изменения ускорения. Условно эту характеристику можно назвать «крутизной ускорения», а соответствующую ей скорость изменения силы — «усилением». Жизнь подсказывает важность этих характеристик, теснейшим образом связанных между собой, в частности для анализа выполнения спортивных упражнений. Достаточно сказать, что они, например, характеризуют такую двигательную способность, как способность быстро развивать большие усилия — «резкость». Проиллюстрируем зависимость других характеристик от крутизны ускорения, расположив графики в обратном порядке (рис. 13, д).

Пожалуй, стоит отметить еще одну закономерность, которую можно проследить на рис. 13, а—г: наибольшей крутизне кривой одного из графиков соответствует максимум на лежащем ниже и нулевое значение на лежащем еще ниже графике. Еще большее обобщение можно сделать, если пойти в обратном направлении, от ниже лежащих графиков к выше лежащим: нулевому значению на нижнем графике соответствует максимум или минимум на лежащем над ним и точка перегиба на лежащем еще выше графике. На рис. 13, д то же самое просматривается сверху вниз. Полезно еще отметить, что горизонтальному участку k_x (2) соответствует наклонный прямолнейный участок на графике a_x — при $k_x > 0$ подъем a_x , при $k_x < 0$ снижение a_x . При $k_x = 0$ на графике a_x может быть либо горизонтальный участок, либо точка с горизонтальной касательной (если k_x лишь в точке принимает нулевое значение). Разумеется, сказанное относится к графикам любых характеристик, связанных аналогичной зависимостью, т. е. получаемых один из другого дифференцированием или интегрированием.

Линейные скорости и ускорения, как и силы, можно геометрически суммировать (по правилам сложения векторов, см. рис. 3).

Если равнодействующая всех приложенных к телу внешних сил направлена *одинаково* со скоростью этого тела, оно движется прямолинейно. (нет отклоняющей силы). То же будет, если равнодействующая (а значит, и ускорение) направлена *точно противоположно* скорости. Если равнодействующая направлена под углом к направлению скорости, движение будет криволинейным.

Каждый элементарный отрезок криволинейной траектории можно заменить отрезком окружности с радиусом r , причём с тем большим приближением, чем меньше этот отрезок.

Если отрезки очень малы, можно говорить, что в каждый момент времени тело движется по окружности какого-то переменного радиуса, называемого *радиусом кривизны* — $r_{кр}$ (рис. 14). В пределе каждой точке криволинейной траектории соответствуют определенные центр и радиус кривизны. Существует понятие *кривизна* — величина, обратная радиусу кривизны: $k = \frac{1}{r_{кр}}$.

Кривизна характеризует степень искривления траектории тела — плавного, непрерывного изменения направления скорости; скачкообразное его изменение вызывает «перелом» траектории. Ускорение тела можно разложить на две составляющие: нормальную (направленную перпендикулярно скорости), или радиальную (центростремительную), и тангенциальную, или касательную. На рис. 14 видно, что чем больше центростремительное ускорение (при прочих равных условиях), тем больше кривизна траектории.

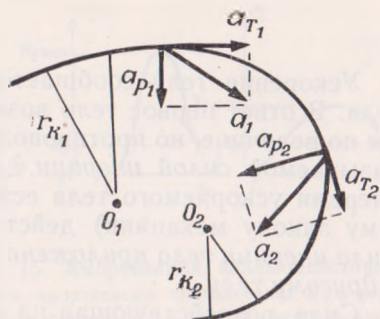


Рис. 14. Кривизна и центростремительное ускорение:

$r_{к1}$ и $r_{к2}$ — радиусы кривизны участков 1 и 2, O_1 и O_2 — центры кривизны участков 1 и 2, a_{p1} и a_{p2} — радиальные составляющие ускорений a_1 и a_2 , $a_{т1}$ и $a_{т2}$ — тангенциальные составляющие a_1 и a_2

1.2.4. Еще о динамике

Ускорение телу сообщается воздействием другого тела. В ответ первое тело воздействует на второе с той же по величине, но противоположно направленной силой, называемой *силой инерции*. Другими словами, сила инерции ускоряемого тела есть его обратное (согласно 3-му закону механики) действие на ускоряющее тело. *Сила инерции тела приложена не к нему самому, а всегда к другому телу.*

Сила, воздействующая на тело (точнее, приложенная к телу; это тела воздействуют друг на друга, и силы — меры этого воздействия), в общем случае изменяет его поступательное и вращательное движения. То же относится к равнодействующей всех приложенных к телу сил. Однако при известных условиях вращательное движение может оставаться неизменным — это происходит тогда, когда линия действия силы проходит через ц. т. тела и имеет место *центральное* действие силы: вращающий момент силы относительно ц. т. тела равен нулю, так как нулю равно ее плечо относительно любой оси, проходящей через ц. т. тела. Другое дело — *нецентральное* действие силы (см. рис. 9, б): тут обязательно должно изменяться как поступательное, так и вращательное движение, поскольку такой случай всегда сводится к действию на тело силы, приложенной к ц. т. тела (т. е. влияющей на поступательное движение тела), и к паре сил, момент которой влияет на вращательное движение.

Эти рассуждения относятся к *свободному* телу, т. е. к телу, не связанному какими-то взаимодействиями с другими телами. Когда такое условие не соблюдено (тело не свободно), приложение какой-нибудь дополнительной силы вызывает соответствующие дополнительные реакции тел, связанных с рассматриваемым.

Под действием сил тело деформируется, меняя форму и объем. Когда действие сил прекращено, тело либо остается деформированным, либо восстанавливает свое первоначальное состояние. Первый случай называется *пластической*, или *неупругой*, деформацией, второй — *упругой*. Для анализа спортивных упражнений гораздо больший интерес представляет второй случай. При упругой деформации возникают силы упругости, равные по величине и направленные противоположно деформирующим силам. Силы упругости возрастают с увеличением деформации.

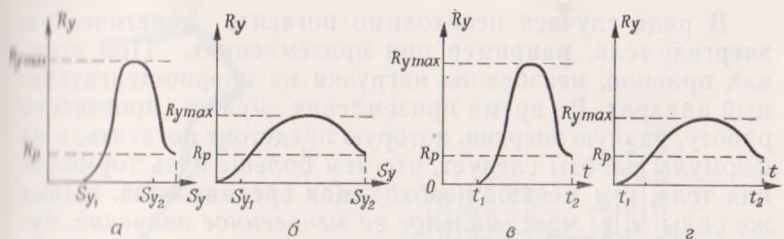


Рис. 15. Амортизация взаимодействий:

S_y — вертикальная составляющая пути амортизации приземления; R_y — вертикальная составляющая силы реакции опоры; R_p — уровень вертикальной составляющей силы реакции опоры, необходимый для уравновешивания силы тяжести тела; t_1 и t_2 — интервал времени, в течение которого произошла амортизация приземления

Если тело движется, то приложенная к нему в течение какого-то времени сила (f) действует на определенном пути (S). Произведение $f \cdot S = A$ — работе силы. Правда, такая формула справедлива лишь для простейшего случая: когда сила все время неизменна по величине и направлена так же, как скорость тела. Обычно между направлениями силы и перемещения тела имеется тот или иной угол (φ). При этом формула приобретает вид $A = f \cdot S \cdot \cos \varphi$ ($\cos \varphi$ всегда меньше единицы, причем эта функция тем меньше, чем больше угол φ , если $0 < \varphi < 90^\circ$).

Работа силы изменяет энергию тела. Среди различных видов энергии для анализа спортивных упражнений наиболее значимы кинетическая энергия (энергия механического движения), потенциальная (здесь следует отчетливо различать потенциальную энергию поля тяготения Земли и потенциальную упругую энергию), тепловая, в которую превращаются частично все другие виды энергии, и энергия пластической деформации, в которую во многих случаях превращается кинетическая энергия тела спортсмена. Кинетическая энергия $E_k = \frac{mv^2}{2}$,

потенциальная энергия тела в поле тяготения $E_{\text{п}} = mgh$, где h — высота над выбранным уровнем. Упругая потенциальная энергия (E_y) на участке линейной упругости пропорциональна квадрату величины деформации, на участке нелинейной упругости зависимость много сложнее. Упругая энергия при выполнении спортивных упражнений (при правильной технике выполнения) обычно превращается в кинетическую энергию тела спортсмена или снаряда.

В ряде случаев необходимо погасить кинетическую энергию тела, например при приземлениях. При этом, как правило, неизбежны нагрузки на опорно-двигательный аппарат. Во время приземления нужно произвести работу, равную энергии, которую предстоит погасить, а из формулы работы следует, что чем больше путь торможения тела, тем меньше необходимая средняя сила. «Пик» же силы, т. е. *максимальное ее мгновенное значение*, будет тем меньше при данной средней силе, чем равномернее распределить силу во времени «Смягчение» взаимодействий тел, т. е. *уменьшение «пиков» развиваемых при этом сил*, называют *амортизацией*. Увеличение пути и времени амортизации при сравнительно равномерном распределении усилий во времени — одна из распространенных задач, решаемых при выполнении спортивных упражнений. Жесткое взаимодействие с опорой или со снарядом легко может привести к серьезной травме. На рис. 15 схематически показаны жесткое (а) и мягкое (б) взаимодействия. Задачу амортизации можно рассматривать и не с энергетических позиций, а как задачу погашения скорости тела (т. е. количества движения), решаемую сообщением телу противоположно направленному импульса силы (рис. 15, в и г).

Реакция опоры иногда может быть условно представлена как одна приложенная к телу сила, и такое упрощение целесообразно (рис. 16). Однако не следует забывать, что даже в самых простых случаях имеет место *распределенная сила* (рис. 17), и далеко не всегда можно представить реакцию опоры в виде равнодействующей всех бесчисленных сил, приложенной к *центру опоры* (рис. 18, а). Очень часто для правильного анализа опорного взаимодействия необходимо рассматривать реакцию опоры как систему локальных равнодействующих сил, приложенных к отдельным участкам опорной поверхности (иногда приходится говорить о нескольких опорных поверхностях). Это показано на рис. 18, б.

При опорных взаимодействиях возникают и пары сил, например, при удерживающем характере связи (рис. 19, а). При скольжении (или в ситуации, когда оно возможно) или качении возникает такая специфическая реакция опоры, как сила трения, направленная в каждой точке опорной поверхности по касательной к ней (рис. 19, б).

Говоря о трении скольжения между твердыми телами,

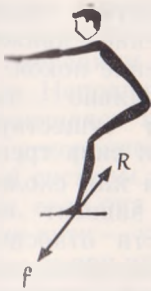


Рис. 16. Реакция опоры как одна сила

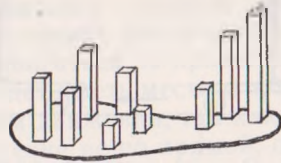


Рис. 17. Реакция опоры как распределенная сила

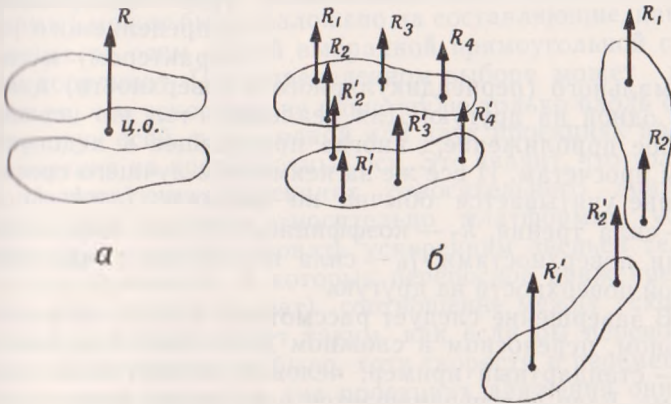


Рис. 18. Различные представления реакции опоры: Ц(О) — центр опоры, R — реакция опоры (равнодействующая), R_1, R_2 и т. п. — локальные равнодействующие сил реакции опоры

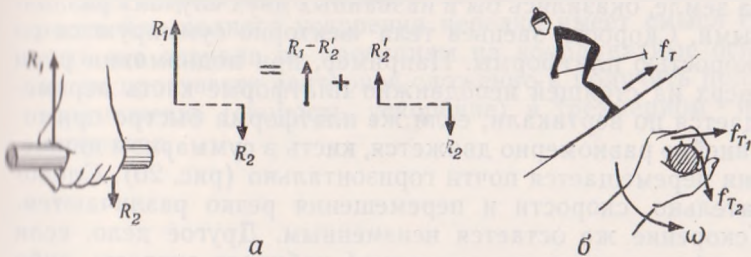


Рис. 19. Пара сил реакции опоры: R_1 и R_2 — локальные равнодействующие сил реакции опоры, f_T — сила трения как составляющая силы реакции опоры

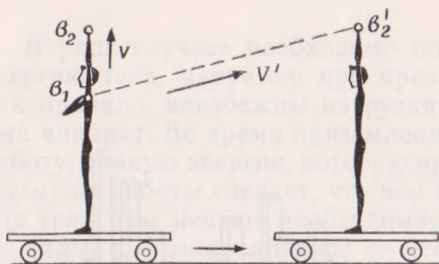


Рис. 20. Относительное и переносное движение:

$b_1 b_2$ — траектория кисти руки при неподвижной платформе, $b_1 b'_2$ — при равномерно прямолинейно движущейся платформе, v и v' — скорости кисти

следует различать трение движения и трение покоя. Для идеально твердых тел существует закон: сила трения покоя или скольжения не зависит от скорости относительно движения и величины трущихся поверхностей; она зависит только от коэффициента трения этих поверхностей (определяемого их характером) и силы

нормального (перпендикулярного к поверхности) давления одной на другую. Для реальных тел это чересчур грубое приближение, иногда приводящее к недопустимым просчетам. И все же за неимением лучшего способа трение учитывается обычно по формуле: $f_T = k_T \cdot f_N$, где f_T — сила трения, k_T — коэффициент трения между данными поверхностями, f_N — сила нормального давления одной поверхности на другую.

В завершение следует рассмотреть вопрос об относительном, переносном и сложном движении. Для простоты — стандартный пример: человек находится на платформе. Если она перемещается равномерно прямолинейно, все движения человека будут происходить точно так же, как если бы платформа была неподвижна. Вместе с тем его движения относительно наблюдателя, стоящего на земле, оказались бы в названных двух случаях различными. Скорости звеньев тела векторно суммируются со скоростью платформы. Например, при поднимании руки вверх на стоящей неподвижно платформе кисть перемещается по вертикали; если же платформа быстро прямолинейно равномерно движется, кисть в суммарном движении перемещается почти горизонтально (рис. 20). Следовательно, скорости и перемещения резко различаются. Ускорение же остается неизменным. Другое дело, если платформа движется ускорено (набирает скорость либо снижает ее): в этом случае суммируются (тоже векторно) ускорения, скорости и перемещения. Усилия, развиваемые

человеком, перестанут соответствовать ускорениям звеньев тела относительно платформы, они будут соответствовать ускорениям звеньев тела относительно наблюдателя на земле. Неподвижная или равномерно прямолинейно перемещающаяся платформа — модель *инерциальной системы*, ускоренно перемещающаяся — модель *неинерциальной системы*. Ее моделью станет платформа и в том случае, если она будет передвигаться по криволинейному участку пути — ускорение будет иметь место и при равномерном, и при неравномерном движении, так как само по себе искривление пути, движение не по прямой, означает наличие как минимум нормального (радиального) ускорения.

Следует особо отметить еще одно обстоятельство. Переносное движение (в данном примере движение платформы) может быть разложено на составляющие, направленные по осям любой выбранной прямоугольной системы координат. При определенном выборе может выясниться, что ускорение не равно нулю только вдоль одной или двух осей, т. е. в одной или двух проекциях полного ускорения на координатные оси. Это значит, что только в соответствующих проекциях относительного движения (движения человека относительно платформы) усилия перестанут соответствовать ускорениям звеньев тела; в тех же проекциях, в которых переносное движение равномерно (ускорения нет), соотношение между ускорениями и усилиями будет таким, как если бы переносного движения вообще не было, хотя скорости и перемещения будут суммироваться (на проекциях движения они суммируются не векторно, т. е. не геометрически, а алгебраически, с учетом знака, означающего направление в ту или другую сторону по оси).

Для определения полного перемещения, полной скорости или полного ускорения нередко имеет смысл сделать это сначала по проекциям на координатные оси, а затем произвести векторное сложение и получить полное перемещение (скорость, ускорение) в трехмерном пространстве.

1.3. ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ И ДВИГАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

1.3.1. Биомеханические цепи

При выполнении двигательных действий звенья тела представляют собой те или иные соответствующие структуре движений биомеханические (кинематические, динамические) цепи.

В подавляющем большинстве случаев при выполнении спортивных упражнений кинематические цепи многозвенны. В незамкнутых (свободных) кинематических цепях с закрепленным концевым звеном скорость и ускорение (линейные и угловые) свободного концевого звена при плоском движении представляют собой алгебраическую сумму соответствующих скоростей и ускорений каждого из срединных звеньев относительно соседнего проксимального звена. На рис. 21 показана сравнительно простая трехзвенная кинематическая цепь: руки, туловище, ноги. Угловые скорость и ускорение ног относительно рук равны сумме скоростей и ускорений туловища относительно рук и ног относительно туловища. На рис. 22 показано сложение линейных скоростей при бросании мяча вверх: вертикальная составляющая скорости кистей рук равна сумме вертикальных составляющих относительных скоростей последовательных пар звеньев тела (имея в виду их верхние концы). То же относится и к линейным ускорениям.

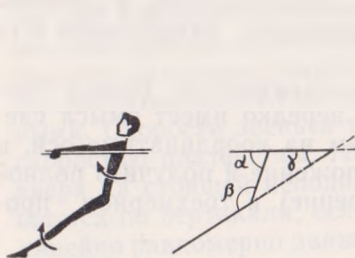


Рис. 21. Кинематическая цепь: α — угол между руками и туловищем, β — угол между туловищем и ногами, γ — угол между руками и ногами (между концевыми звеньями)

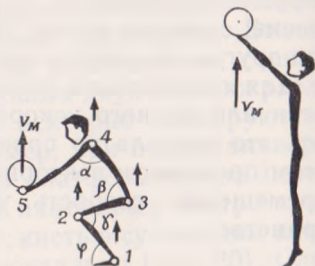


Рис. 22. Кинематическая цепь: v_M — вертикальная составляющая скорости мяча; цифрами обозначены концевые точки звеньев тела, стрелками — вертикальные составляющие скорости этих точек

Если оба конца кинематической цепи не закреплены, скорости и ускорения любых двух звеньев друг относительно друга (при плоском движении) тоже равны сумме относительных скоростей и ускорений промежуточных между ними звеньев и конечных звеньев относительно соседних промежуточных. Однако в этом случае скорости и ускорения конечных звеньев относительно неподвижной системы координат равны сумме относительных скоростей последовательной цепи звеньев.

Замкнутая кинематическая цепь нередко функционально представляет собой две параллельно работающие цепи с соединенными рабочими концами (рис. 23).

Подвижность в каждом суставе измеряется тем или иным предельным размахом движений: в локтевом суставе примерно 140° , в плечевом — в боковой плоскости — приблизительно столько же (если фиксирован пояс верхних конечностей) и т. д. В результате взаимодополнения движений возможен большой размах движений в суставах: как и скорости или ускорения, относительные угловые перемещения в открытых кинематических цепях суммируются. В замкнутых же кинематических цепях подвижность в некоторых суставах снижается.

Понятие «кинематическая цепь» перенесено в биомеханику из технической механики, где применяется при описании и анализе кинематики механизмов. Соответственно и в биомеханике спорта оно применимо для изучения и анализа кинематики опорно-двигательного аппарата человека, т. е. в процессе рассмотрения линейных и угловых перемещений, скоростей, ускорений звеньев тела — относительных и (в выбранной системе отсчета) абсолютных. В тех же случаях, когда представляет интерес динамика движений, развиваемые суставные моменты и силы взаимодействия звеньев тела между собой и с другими телами, когда анализируются силовые и энергетические возможности двигательного аппарата, понятие «кинематическая цепь» уже не может удовлетво-

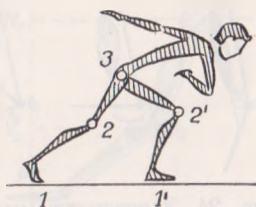


Рис. 23. Замкнутая кинематическая цепь как две параллельные незамкнутые:

1—2—3 и 1'—2'—3 — части замкнутой через опору цепи, функционально представляющие собой две параллельные открытые (незамкнутые) кинематические цепи

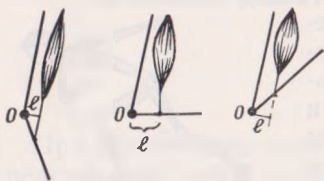


Рис. 24. Зависимость момента силы тяги мышцы от суставного угла:

O — проекция оси сустава, l — плечо силы тяги двуглавой мышцы плеча

ческую цепь здесь составляют силовые звенья ног (две параллельные ветви цепи), силовые звенья туловища (простой участок цепи), силовые звенья рук (снова две параллельные ветви цепи). Кинематические цепи бывают открытыми (незамкнутыми) и замкнутыми. Для динамических цепей понятие «замкнутая» лишено целесообразности, поскольку оно означает лишь наложение новых динамических (силовых) факторов, т. е. не вносит ничего принципиально нового. Более того, оно может маскировать то обстоятельство, что функционируют не одна замкнутая, а две незамкнутые динамические цепи (например, как показано на рис. 23; другой пример: выжимание штанги от груди — каждая рука с соответствующей половиной пояса верхних конечностей представляет собой самостоятельную динамическую цепь; нет смысла говорить о замкнутой цепи «рука — гриф штанги — рука — пояс верхних конечностей»: это может лишь сбить с толку), что информативно при рассмотрении кинематики двигательных действий бывает бесполезным, а то и вредным при рассмотрении их динамики.

При суставном движении мышцы, «ответственные» за него, в состоянии развить различный момент силы тяги относительно оси сустава в зависимости от величины суставного угла в данный момент времени. Объясняется это тем, что изменяется длина мышцы, а главное, плечо ее силы тяги относительно оси сустава. На рис. 24 (на примере сгибания руки в локтевом суставе) видно, что плечо силы тяги мышцы меняется очень существенно. Сила тяги мышцы также меняется, но даже не столько в связи с изменением ее длины, сколько в связи с изменением величины суставных углов, при которых проходила

речь. Здесь целесообразно ввести понятие «динамическая цепь», обозначающее систему последовательно и параллельно соединенных силовых звеньев (этот термин будет пояснен несколько позже). Как и кинематические, динамические цепи могут быть простыми и разветвленными. Пример разветвленной цепи: штангист выполняет рывок — динамическую цепь здесь составляют силовые звенья ног

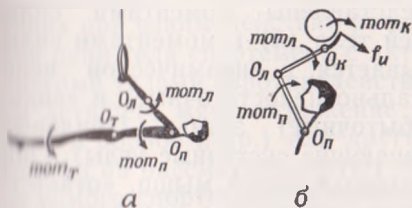


Рис. 25. Динамическая цепь:

$O_т, O_п, O_л, O_к$ — оси тазобедренного, плечевого, локтевого, лучезапястного суставов; $mot_т, mot_п, mot_л, mot_к$ — моменты сопротивления относительно этих осей; $f_и$ — сила инерции мяча

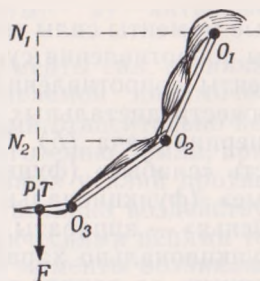


Рис. 26. Нагрузка силовых звеньев динамической цепи:

O_1, O_2, O_3 — проекции осей плечевого, локтевого и лучезапястного суставов; P, T — рабочая точка цепи; O_3PT — силовое и рабочее плечо лучезапястного сустава; O_2N_2 — силовое плечо локтевого сустава, O_2PT — рабочее плечо локтевого сустава, O_1N_1 — силовое плечо плечевого сустава, O_1PT — рабочее плечо плечевого сустава

основная работа по развитию ее силы: замечено, что мышца проявляет заметно большую силу именно в том диапазоне суставных углов, в котором проводилась ее силовая тренировка.

В ряде суставов может производиться ротация (поворот звена тела вокруг своей продольной оси). При этом существенно меняется не только максимальная величина, которой в сгибательных и разгибательных движениях может достигнуть момент силы тяги каждой из обслуживающих сустав мышц или групп мышц, меняются и «роли» мышц. Так, при ротации руки в плечевом суставе существенно меняется функция частей дельтовидной мышцы.

Если динамическая цепь состоит из ряда последовательно соединенных звеньев¹, необходимо считаться с тем, что мышцы, обслуживающие различные суставы, могут при предельном их напряжении развить различ-

¹ Здесь имеются в виду звенья цепи, а не звенья тела в анатомическом понимании. Силовое звено включает в себя сустав и все мышцы, активно участвующие в выполнении рассматриваемого движения в данном суставе.

ные моменты силы тяги. Не равны между собой и моменты сопротивления суставным движениям. На рис. 25 моменты сопротивления представлены моментами силы тяжести дистальных частей тела (а) и моментами силы инерции мяча (б). Оказывается, в динамической цепи есть «слабые» (функционально недостаточные) и «сильные» (функционально избыточные) звенья («силовые звенья» — аппараты, изменяющие суставные углы). Они функционально характеризуются силой мышц, «ответственных» за данное суставное движение, и соотношением силовых плеч рычага — костной основы перемещаемого звена (звеньев) тела (рис. 26). *Силовым плечом* называют плечо силы тяги мышцы (группы мышц) относительно оси сустава, а не расстояние от места прикрепления сухожилия мышцы до оси сустава. Расстояние же от рабочей точки до оси сустава назовем рабочим плечом.

Функциональные характеристики одинаковых силовых звеньев у разных людей неодинаковы. В связи с этим наиболее целесообразная структура движений, особенно выполняемых с предельным или околопредельным напряжением, нередко индивидуальна, т. е. отличается от общепринятой структуры движений, определяемой рациональной техникой упражнения. В основе такого рода отступления от нее лежит стремление использовать имеющуюся функциональную избыточность отдельных звеньев динамической цепи, в частности компенсировать функциональную недостаточность других звеньев. Компенсация осуществляется как за счет изменения нагрузки на силовые звенья и изменения их силовых плеч, так и за счет перераспределения скоростей суставных движений (о зависимости предельной силы, развиваемой мышцей, от скорости ее сокращения речь пойдет дальше).

Суставные движения совершаются в результате наличия суставных моментов. Они различные по происхождению и по значению для управления движениями, а значит, и для анализа двигательных действий. С целью преодоления существующей в данном вопросе нежелательной терминологической «свободы» представляется оправданной следующая классификация суставных моментов, удобная для использования при анализе двигательных действий.

1. *Внешние* суставные моменты: а) активные, б) инерционные, в) пассивные.

2 *Внутренние* суставные моменты: а) активные, в) пассивные.

Активные внешние моменты — моменты сил, возникающих при взаимодействии рассматриваемой динамической цепи тела спортсмена с активными относительно нее другими телами (противодействие тяготению Земли, прием летящего мяча, отражение активных усилий противника и борьбе и др.) или другими (активно воздействующими на рассматриваемую) динамическими цепями тела самого спортсмена. *Инерционные* моменты возникают при ускоренном или замедленном перемещении звеньев тела спортсмена, а также связанных с ними предметов, как результат их инерционности (это моменты сил инерции). *Пассивные* внешние моменты представляют собой моменты опорных реакций, т. е. воздействия пассивных относительно спортсмена тел. Полный внешний суставной момент представляет собой геометрическую (или векторную) сумму всех активных, инерционных и пассивных суставных моментов (относительно оси данного сустава).

Активный внутренний суставной момент — это сумма моментов сил тяги всех активно напряженных мышц, обуславливающих движения в данном суставе, относительно рассматриваемой оси. *Пассивный внутренний* момент — соответственно сумма моментов пассивных сопротивлений, возникающих в суставе: сопротивлений костных ограничителей, связок, растягиваемых мягких тканей и пассивно (тонически) напряженных мышц-антагонистов движения.

Следует заметить: суставные моменты, приложенные к сочленяющимся звеньям тела, всегда противоположны по направлению, но отнюдь не всегда равны между собой по абсолютной величине: двухсуставные мышцы воздействуют лишь на одно из этих звеньев (к другому они ведь не прикреплены).

1.3.2. Координация работы мышц

Как известно, при выполнении активных движений обычно большую или меньшую часть времени одновременно работают, хотя и с различной интенсивностью, антагонистические группы мышц. Не всегда это целесообразно. В таких случаях одна из задач технической подготовки — научиться «выключать» мышцы-антагонисты на

определенную часть движения: благодаря этому повышается его скорость, возрастает рабочий эффект. Достигается «выключение» антагонистов прежде всего умением хорошо расслабляться. Вместе с тем не следует совсем избавляться от напряжения антагонистов: например, в заключительной части движения их тонус должен возрастать хотя бы для того, чтобы затормозить движение, снизить нагрузку на связочный аппарат — амортизировать остановку звена, т. е. распределить, «растянуть» необходимый импульс тормозящих сил на большее время и тем самым снизить максимальные усилия (см. рис. 15). Но дело не только в этом. Очень важна корректирующая роль антагонистов, участвующих в позных реакциях, тонко регулирующих направление и скорость движения, усилие. А в ряде случаев, когда непосредственно после данного движения следует возвратное (обратное по направлению), также энергичное, надо успеть напрячь антагонисты к тому моменту, когда они станут движущими мышцами: ведь на то, чтобы напрячь мышцы, необходимо время, и не такое уж малое — 0,1—0,3 с.

При анализе спортивной техники и особенно технических ошибок важно учитывать позно-тонические рефлексы, специфически сказывающиеся на распределении тонуса мышц, координации движений, функциональном уровне силовых звеньев. Так, например, наклон головы вперед стимулирует работу мышц передней поверхности тела, т. е. позволяет развить большую силу и мощность сгибательных движений туловища и бедер. В то же время такое положение головы координационно и энергетически затрудняет прогибание туловища, отведение ног назад, движение руками назад из положения вверх. Наклон головы назад, напротив, снижает функциональные возможности человека в движениях, направленных вперед, зато облегчает выполнение наклона туловища назад, отведение назад ног и поднятых вверх или в стороны рук. Гимнасты превосходно знают, насколько легче удерживать горизонтальный вис спереди наклонив голову вперед (к груди), чем назад (рис. 27). А вот горизонтальный вис сзади (рис. 28) легче удерживать (тем более силой перейти из него в вис прогнувшись) наклонив голову назад. Это влияние положения головы определяет и такое правило: во время стартового разгона в легкоатлетическом беге держать голову наклоненной вперед



Рис. 27. Значение шейно-тонических рефлексов в горизонтальном виси спереди

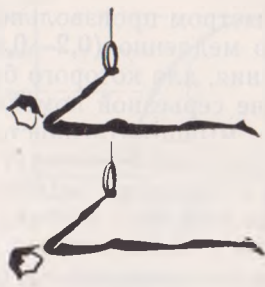


Рис. 28. Значение шейно-тонических рефлексов в горизонтальном виси сзади

готовы избежать раннего выпрямления туловища с переходом его в вертикальное положение и форсировать поднимание бедер), а во время бега по дистанции — поднятой или даже откинутой назад, что способствует увеличению горизонтальной составляющей отталкивания ногами. Влияют на тонус мышц туловища и ног повороты головы. Так, поворот головы налево способствует одноименному повороту туловища, переносу веса тела на разноименную ногу, а также отведению назад левой руки, опущенной или поднятой в сторону, в то же время затрудняя симметричное движение правой рукой.

Быстрое растягивание напряженных мышц повышает их функциональный уровень при немедленном активном возвратном движении. Такую задачу повышения работоспособности мышц в нужном движении решает выполнение активного, энергичного замаха, где растягивающей мышцу силой является сила инерции быстро останавливаемого отводимого звена тела. Возвратное движение должно следовать немедленно за замахом, в противном случае напряжение растянутых мышц спадает и эффект замаха утрачивается (если говорить о повышении тонуса мышц; возможный же размах последующего движения, например разгона звена, за счет замаха возрастает в любом случае). Релаксация (расслабление), хотя и частичная, наступает через короткое время даже при условии продолжающегося растягивания мышцы внешней силой или тягой мышц-антагонистов. Последний вариант плох еще и тем, что это напряжение даже при са-

мом быстром произвольном расслаблении снижается довольно медленно (0,2—0,4 с), так что начальная часть движения, для которого был произведен замах, проходит на фоне серьезной помехи — напряжения, хотя и спадающего, мышц-антагонистов, производивших замах.

К сказанному следует добавить, что растягивание мышц в пределах подвижности сустава в большинстве случаев невелико, поэтому повышение их силовых характеристик в соответствии с зависимостью «длина — напряжение» незначительно и обычно в практике КБА может не приниматься в расчет. Исключение составляют дву- и многосуставные мышцы, а также некоторые мышцы, работающие на большом плече. Вообще эффект этот в большой степени маскируется изменением силового плеча тяги мышцы по мере изменения суставного угла, так что для КБА бывает необходима комплексная, суммарная оценка функциональных возможностей данного силового звена при том или ином суставном угле.

1.3.3. Инерционность процесса напряжения мышц

Уже говорилось, что напряжение мышц опорно-двигательного аппарата после расслабленного состояния в норме занимает — для разных людей и разных мышц — от 0,1 до 0,3 с, расслабление напряженной мышцы — от 0,2 до 0,4 с. Совершенно очевидно, что при выполнении спортивных упражнений подобная инерционность процессов напряжения и расслабления представляет собой чрезвычайно существенный фактор: ведь полная длительность многих важнейших движений и даже действий гораздо меньше, а других — примерно равна времени протекания любого из этих процессов. Кроме того, существует еще и скрытое (латентное) время простой двигательной (моторной реакции, равное 0,1, а то и примерно 0,2 с. Между тем при анализе спортивной техники об этом факторе иной раз забывают.

На рис. 29 показан график-схема развития напряжения мышцы. Здесь $\tau_{л} = t_0 - t_c$ — латентное время двигательной реакции (t_0 — момент начала повышения напряжения мышцы, t_c — момент получения сигнала к действию), т. е. отрезок времени между сигналом к действию и началом двигательного ответа на этот сигнал, началом повышения напряжения мышцы; $\tau_{м} = t_{м} - t_0$ — время полного (предельного) напряжения мышцы, т. е. отрезка

ток времени между моментами начала повышения его напряжения и его максимума (P_{max}) для данных условий.

Если в простых реакциях $\tau_{л}$ у большинства людей близко к 0,1 с, то в сложных реакциях, связанных с необходимостью анализа сигнала, с какими-то трудностями его осознания, с выбором того или иного ответа, $\tau_{л}$ может оказаться значительно большим. В тех случаях, когда дорога каждая доля секунды, спортсмену приходится заранее решить по меньшей мере три задачи:

— выбрать четкий сигнал (к началу действия), на осознание и расшифровку которого будет потрачено минимальное время;

— настроиться по возможности на одну определенную двигательную реакцию на этот сигнал, чтобы избавиться от необходимости выбирать образ действий (или хотя бы упростить выбор) после восприятия сигнала;

— выбрать сигнал, который упреждал бы оптимальный момент начала нужного действия на время, не меньшее $\tau_{л}$ (с учетом того или иного решения первых двух задач), но и ненамного превышающее $\tau_{л}$ (чем больше по времени отдален «пусковой» сигнал от начала действия, тем труднее точно рассчитать момент начала).

В качестве сигнала служит появление визуального, звукового, тактильного, кинестезического ориентира. Сигнал может быть сложным, комбинированным, включающим в себя несколько ориентиров одной или различных модальностей (скажем, два последовательных кинестезических, один визуальный, один тактильный). Например, при выполнении высокого выкрута вперед на кольцах комбинированным сигналом к энергичному нажми руками на кольца (назначение которого — поднять

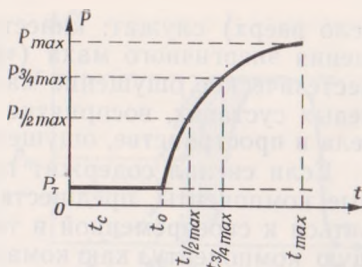


Рис. 29. Развитие напряжения мышцы:

P_{max} , $P_{3/4max}$, $P_{1/2max}$ — максимальное, в $3/4$ от максимального и половинное от максимального напряжения мышцы; P_T — исходное тоническое напряжение мышцы; t_c — момент получения пускового сигнала; t_0 — момент начала повышения напряжения мышцы; $t_{1/2max}$ и $t_{3/4max}$ — моменты достижения половинного от максимального и максимального напряжений

тело вверх) служат: кинестезическое восприятие завершения энергичного маха («хлёста») ногами назад, кинестезическое ощущение максимума «натяжения» в плечевых суставах, восприятие определенного положения тела в пространстве, ощущение хлопка тренера по плечу.

Если сигнал содержит последовательно расположенные компоненты, предшествующие помогают подготовиться к своевременной и точной реакции на завершающую компоненту, как команда «Внимание!» помогает лучше стартовать по команде «Марш!». Такого рода связь особенно четко проявляется, если временной интервал между компонентами стабилизирован. Гимнасту, у которого латентное время реакции велико, имеет смысл упростить сигнал, используя только восприятие завершения «хлёста» ногами назад и произведенный с большим упреждением хлопок тренера. Тогда у него будет достаточно времени, чтобы своевременно среагировать на сигнал. Вообще выбор пусковых сигналов реакций должен производиться в строгом соответствии с индивидуальным латентным временем соответствующих реакций.

На рис. 29 видно, что *напряжение развивается тем медленнее, чем больше его достигнутая величина* (видно по уменьшению угла наклона касательной к кривой по мере подъема к ее вершине). Следовательно, инерционность процесса напряжения мышц проявляется особенно заметно при выполнении мощных, энергичных движений, когда усилие достигает предельного или околопредельного значения. Если сравнить интервалы $t_{от}t_{1/2max}$ и $t_{1/2max}t_{max}$, соответствующие достижению половины максимального напряжения от нуля и максимального от половинного, то можно увидеть, что львиная доля времени расходуется на достижение высоких значений напряжения: для достижения напряжения, равного половине от максимального, требуется приблизительно $1/4$ часть времени, необходимого для достижения максимального напряжения; напряжение в $3/4$ от максимального достигается примерно вдвое быстрее, чем максимальное. Конечно, это схема, а не подлинная динамограмма. Причем это схема развития напряжения мышцы в изометрическом режиме, в других режимах картина может быть иной, о чем будет сказано позже.

Уже говорилось, что инерционность напряжения особенно существенна при его высоких значениях. Чтобы

мышца развила большое напряжение, требуется время, сопоставимое с длительностью большинства энергетически значимых движений и действий в спорте. Это обстоятельство заставляет *заранее* начинать развитие напряжения мышц, чтобы задуманное движение или действие было предельно эффективным с *самого начала*. Рис. 30 иллюстрирует значение такой упреждающей активности. Вертикальной штриховкой показан выигрыш в импульсе силы как следствие предварительного повышения тонического или фазного напряжения мышцы, ускоряющего достижение ею предельного напряжения. Еще дополнительный выигрыш (сетчатая штриховка) получается в результате упреждающего начала основного повышения напряжения мышцы (величина упреждения зависит от того, была ли мышца предварительно напряжена и насколько).

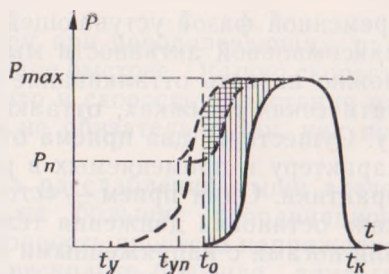


Рис. 30. Упреждающая активность: P_{max} и P_n — максимальное и предварительное напряжения мышцы; t — момент начала упреждающего напряжения мышцы (без предварительного напряжения); t_{yn} — то же, но с предварительным напряжением; t_o — момент начала напряжения мышцы без упреждения; t_k — момент окончания напряжения мышцы

Предварительное повышение тонического напряжения мышцы часто бывает произвольным результатом настройки на движение. Однако значительное предварительное напряжение (как правило, возможное только при одновременном сопутствующем повышении напряжения мышц-антагонистов) носит не тонический, а фазный характер. Оно также может быть произвольным, если прочно входит в автоматизированный навык, но может быть и целиком осознаваемым. Обычно эта форма упреждающей активности целесообразна при удерживающей или уступающей работе. Для быстрых преодолевающих движений такая подготовка не годится, так как напряжение мышц-антагонистов будет мешать (их нельзя расслабить мгновенно; это требует времени).

Другая форма упреждающей активности мышцы — упреждающее предельно быстрое развитие ее напряжения. Часто эта форма применяется в сочетании с кратко-

временной фазой уступающей работы, совершаемой при максимальной активности мышц. В качестве примеров можно назвать отталкивание ногами «отбивом» в акробатических прыжках, отталкивание в прыжках в высоту. Существует два приема отталкивания, различных по характеру и применяемых в разных случаях спортивной практики. Один прием — «стопор», т. е. резкая, «жесткая» остановка движения тела почти прямыми руками или ногами с напряженными до предела мышцами, в результате которой последующее отталкивание начинается при чрезвычайно высоком напряжении мышц, компенсирующем явную недостаточность пути разгона тела. Иллюстрация этого приема — отталкивание ногами и руками в опорных и акробатических прыжках. Другой прием — условно «заряжающее подседание» («заряжающее» мышцы, создающее в них высокий уровень напряжения) — заключается в том, что производится уступающее движение довольно большого размаха с постепенным наращиванием напряжения растягиваемых мышц до околопредельной величины. Благодаря этому с самого начала спортсмен отталкивается очень энергично (пусть не с таким высоким напряжением мышц, как при «стопоре», зато располагая большим путем разгона тела). Этот прием используют прыгуны в высоту и тройным, штангисты при выполнении толчка с груди и другие спортсмены.

Применяя «стопор», спортсмен напрягает мышцы, работающие при отталкивании, т. е. развивает усилие отталкивания (как бы начинает это действие) *еще до момента постановки рук или ног на опору*. При «заряжающем подседании» начало уступающего движения происходит при невысоком напряжении мышц, оно постепенно повышается к концу амортизации.

Упреждающее развитие напряжения мышц имеет место и при энергичном замахе перед немедленно следующим за ним предельно активным возвратным движением. Тут есть возможность в процессе торможения замаха предельно напрячь мышцы, ответственные за подготавливаемое замахом движение, и одновременно расслабить их антагонисты, поскольку звенья тела, которые выполняют замах, движутся в это время по инерции и тем создают достаточное сопротивление.

Заканчивая разговор об инерционности процесса напряжения мышц, следует отметить, что она меньше при

уступающих движениях, чем при преодолевающих, причем тем меньше, чем движение быстрее. Обычно скорость движения переменна, так что и скорость нарастания напряжения мышц меняется не обязательно так, как при шометрическом режиме.

Инерционность процесса расслабления мышц влечет за собой не меньшие, а даже большие координационные трудности, чем инерционность процесса напряжения. Основные причины этого: несколько большая длительность и меньшая управляемость расслабления, менее очевидная необходимость расслабления тех или иных групп мышц, потребность регулировать степень расслабления в соответствии с работой тех мышц, которые обеспечивают выполнение заданных движений и действий, необходимость «укрепляющего» сустав напряжения мышц.

Обычно расслабление «мешающих» мышц осуществляется неосознанно, как побочный, сопутствующий процесс при главном — напряжении мышц, вызывающих движение, так что и специальных сигналов к расслаблению не требуется. Но в ряде случаев расслабление бывает ведущим процессом. Инерционность процесса расслабления мышц ярко проявляется в движениях, которые, по-видимому логично назвать «следовыми». Речь идет о движениях, основная причина которых — достаточное напряжение интенсивно работавших мышц. Примером могут служить движения руками сразу после отталкивания ими в прямых опорных прыжках. Если отталкивание было неверным, направленным «под себя», руки под действием остаточного напряжения наиболее активно работавших мышц будут продолжать опускаться (приближаться к туловищу); если же отталкивание выполнено правильно, в направлении «от себя», остаточное напряжение мышц приведет к подниманию рук после завершения отталкивания. Другой пример: движения туловища и метавшей руки дискобола или копьеметателя после выпуска снаряда.

Мышцам свойственна упругость, причем характеристики их упругости переменны, они зависят от степени напряжения. Это свойство мышц находит отражение в процессе быстрых энергичных движений. Во-первых, упругость мышц снижает пики развиваемых ими «мгновенных» напряжений (при рывках, толчках, ударах, приземлениях, торможении звена), так как существенно «раз-

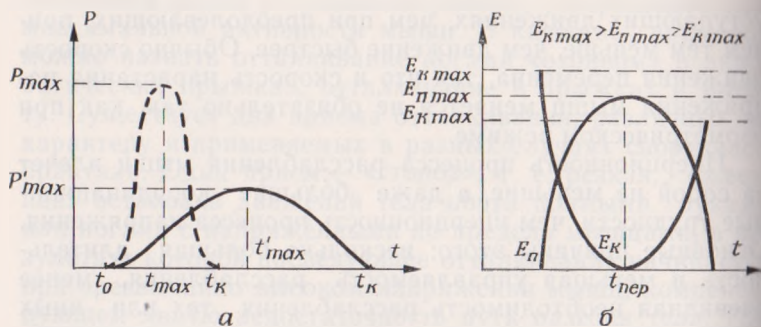


Рис. 31. Упругие взаимодействия:

P_{max} и P'_{max} — максимумы напряжения мышцы (группы мышц) при мгновенном предельном усилии в случае неупругого и упругого взаимодействий; t_0 — момент начала напряжения мышцы; t_K и t'_K — моменты окончания напряжения мышцы при неупругом и упругом взаимодействиях; t_{max} и t'_{max} — моменты достижения максимума напряжения мышцы при неупругом и упругом взаимодействиях; E_K и E_P — кинетическая и потенциальная энергии; $t_{пер}$ — момент полного перехода кинетической энергии в потенциальную; E_{Kmax} и E'_{Kmax} — максимальные уровни кинетической энергии до перехода ее в потенциальную и после обратного перехода; E_{Pmax} — максимальный уровень потенциальной энергии (в этот момент $E_K=0$)

мазывают» силу тяги во времени (рис. 31, а), оставляя импульс силы (сравните площади кривых) приблизительно неизменным. Во-вторых, упругость мышц несколько увеличивает время развития напряжения (сравните t_{max} и t'_{max}). Наконец, в-третьих, упругость мышц позволяет им запасти во время быстрого уступающего движения значительную потенциальную энергию, которая может быть использована в процессе возвратного движения, если оно следует без паузы (рис. 31, б: E_K с небольшой потерей переходит в E_P , затем, тоже с потерей, происходит обратный переход). Это происходит, например, во время спринтерского бега, когда быстро растянутая двуглавая мышца бедра за счет упругой деформации останавливает маховую ногу впереди и, восстанавливая свою длину, сообщает ей затем импульс, направленный книзу (Н. С. Северцов). Таким образом экономится энергия, необходимая на остановку ноги и ее разгон в обратном направлении в случае выполнения этой работы только за счет сократительной деятельности мышц: работа за счет упругой деформации энергетически почти «бесплатна». Аналогичная ситуация имеет место при вы-

Выведении соскоков типа «лёт» с высоким вылетом после энергичного маха назад ногами: мышцы (как, впрочем, и связки) плечевых суставов до отказа растягиваются, и упругие силы немало помогают в выполнении максимально энергичного возвратного движения.

1.3.4. Закономерность «сила — скорость»

Зависимость предельного напряжения мышц от скорости их сокращения, а точнее, зависимость силы воздействия рабочей точки звена на другие тела (включая другие звенья тела), развиваемой в активном движении (условно — «сила движения»), от его скорости очень важна для анализа упражнений. Этот материал сравнительно сложен для усвоения, поскольку содержит некоторые парадоксальные моменты.

Всем, вероятно, знакома силовая игра: два человека садятся друг против друга, ставят правые локти на стол, и каждый старается положить руку противника. Когда одному из них это удастся, говорят, что он сильнее другого (в том проявлении силы, которого требует данная игра). Очевидно, говоря так, имеют в виду, что победитель при предельном напряжении соответствующих мышц в состоянии развить в данном движении большую силу механического воздействия на руку противника, чем побежденный, т. е. давит на руку противника с большей силой, отчего и прижимает его руку к столу. Так ли это? Ведь 3-й закон механики гласит: всякому действию всегда есть равное по величине и противоположно направленное противодействие.

Игнорировать законы механики нельзя. Следовательно, нельзя сомневаться в том, что противники давят друг другу на руки *с точно одинаковой силой*. Почему же один все-таки кладет руку другого? Иногда пытаются объяснить это силой инерции рук: дескать, ускоренно перемещая руку противника, победитель преодолевает инерционность и его руки, и своей собственной, и эта сила сопротивления суммируется с активным сопротивлением противника. Но такой довод довольно легко опровергнуть: во-первых, сила инерции рук очень невелика, а во-вторых, и это главное, движение рук редко бывает ускоренным, обычно большую часть времени руки либо неподвижны, либо перемещаются равномерно. Более того, нередко побежденный замедляет движение рук, т. е.

развивает большую силу, чем победитель. Видимо, наличие силы инерции рук ничего по существу объяснить не может.

Так в чем же дело? Начать объяснение придется не сколько издалека.

Мышца — своего рода машина, превращающая химическую энергию в механическую. Если считать, что мощность этой машины — величина неизменная, что совсем не так уж далеко от истины, легко прийти к очень важной закономерности: *во сколько раз быстрее* сокращается мышца, *во столько раз меньшую силу* она может развить *при предельном напряжении*. Графически эта зависимость изображается прямоугольной гиперболой (квадратичной), асимптотами которой служат главные оси координат (рис. 32). Но мощность мышцы при максимальном усилии практически неизменна лишь в отношении преобразования богатых энергией органических веществ, в отношении количества освобождаемой единицу времени химической энергии. Что же касается превращения ее в механическую, то к. п. д. мышцы существенно меняется в зависимости от скорости ее сокращения (рис. 33). Поэтому кривая зависимости развиваемого мышцей предельного напряжения в действительности выглядит несколько иначе (рис. 34, кривая *I*). Хотя форма гиперболы в основном сохраняется, положение ее относительно главных осей координат другое: асимптоты ее параллельны им и смещены в сторону отрицательных значений, что следует из так называемого характеристического уравнения А. Хилла: $(P+a)(V+v)=c$, где P — предельное напряжение мышцы, V — скорость ее сокращения; a , v и c — константы.

На рис. 33 видно, что к. п. д. превращения мышцей химической энергии в механическую в диапазоне скоростей сокращения 0,2—0,4 от максимальной меняется мало. Поэтому соответствующий участок кривой на рис. 34 очень близок к графику обратно пропорциональной зависимости. Следовательно, в данном диапазоне развиваемая мышцей предельная сила меняет свою величину приблизительно обратно пропорционально изменению скорости (сходно с тем, что показано на рис. 32). На рис. 34 графически изображены три различные зависимости. Одна из них (кривая *I*, сходная с кривой на рис. 32) — «напряжение — скорость сокращения» в режиме активного укорочения мышцы (соответствующем

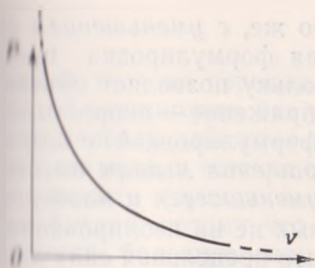


Рис. 32. Зависимость «сила — скорость» без учета изменений к.п.д. мышцы:
 P — предельное напряжение мышцы, V — скорость ее сокращения

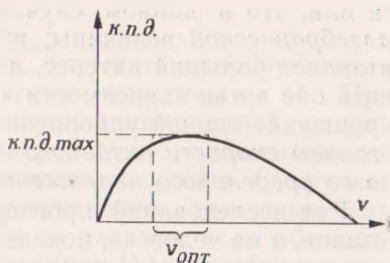


Рис. 33. Изменение к.п.д. мышцы в зависимости от скорости ее сокращения
 $v_{\text{опт}}$ — диапазон скоростей, оптимальный в отношении к.п.д. мышцы, в этом диапазоне $P \approx \frac{k}{V}$, где k — коэффициент пропорциональности

преодолевающей работе); другая (кривая II) — то же в режиме растягивания (удлинения) активно напряженной мышцы (соответствующем уступающей работе); третья (кривая III) — характеризует пассивное сопротивление, оказываемое мышцей влишком быстрому сближению ее концов.

Не вдаваясь в теорию вопроса, следует отметить два обстоятельства:
 а) при нулевом значении скорости сокращения мышцы (изометрический режим) зависимость претерпевает скачок, так что существует верхнее и нижнее значения предельного напряжения мышцы в изометрическом режиме (соответствующем статической работе);

б) в зоне удлинения (отрицательных скоростей сокращения) мышцы (кривая II) предельное напряжение ее возрастает с увеличением абсолютной величины скорости

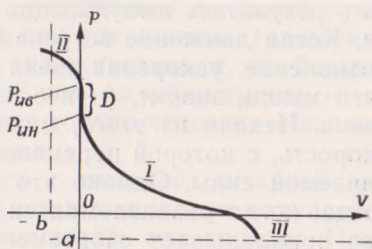


Рис. 34. Реальная зависимость «сила — скорость», отражающая переменность к.п.д. мышцы:

I, II, III — участки с различным характером хода кривой; $P_{\text{ив}}$ и $P_{\text{ин}}$ — верхняя и нижняя границы предельного изометрического напряжения мышцы; $D = (P_{\text{ив}} - P_{\text{ин}})$ — интервал предельных напряжений мышцы в изометрическом режиме; a , b — константы характеристического уравнения Хилла

ти или, что в данном случае то же, с уменьшением ее алгебраической величины; вторая формулировка представляет больший интерес, поскольку позволяет объединить обе ветви зависимости «напряжение — скорость сокращения» единой упрощенной формулировкой: с возрастанием скорости активного сокращения мышцы величина ее предельного напряжения уменьшается и наоборот.

Ряд исследований, проведенных не на изолированной мышце, а на человеке, показал, что предельная сила движения (см. стр. 65) и его скорость связаны зависимостью, аналогичной зависимости «напряжение — скорость сокращения». Кратко эту зависимость называют «сила — скорость». При ее рассмотрении часто смешивают понятия «предельная сила» и «реально действующая сила». Предельная сила — это верхняя граница, которой может достигнуть значение развиваемой силы при максимальной произвольной импульсации соответствующих мышц, а реально действует сила, которая достигнута в результате импульсации той или иной интенсивности. Когда движение встречает какое-то неизменное сопротивление, ускорение звена зависит от величины силы тяги мышц, значит, от нее косвенно зависит и скорость звена. Исходя из этого, можно, конечно, говорить, что скорость, с которой перемещается звено, зависит от развиваемой силы. Однако это рассуждение имеет смысл тогда, когда развиваемая сила зависит от усилия, которое прикладывает спортсмен (скажем, «вполсилы» или «в $\frac{3}{4}$ силы» напрягает он соответствующие мышцы). Имеет смысл оно и в ситуации, когда сравнивают способность разных людей развить при одинаковом сопротивлении ту или иную скорость в данном движении. Но ведь здесь речь идет о другом: о величине силы, которую в состоянии развить данный человек при предельном напряжении мышц — только при предельном! Зависит ли этот «потолок» — предельная сила — от каких-нибудь факторов? Да, зависит. Оставляя в стороне физиологические и психологические факторы, стоит остановиться на чисто механическом (влияющем, конечно, опосредствованно, через физиологические механизмы) — скорости движения. Специальные исследования показали наличие этой зависимости и выяснили ее общий характер. Его довольно четко показывает и двигательная практика, если подойти к ней аналитически. Вот простые примеры.

Достаточно среднего физического развития, чтобы

подтянуться на перекладине, отпустить одну руку и на другой равномерно, без ускорения, опуститься в вис. При этом человек действует на перекладину с силой, равной весу его тела, в течение примерно 2—5 с — в зависимости от скорости опускания. Медленно опускаться труднее чем быстро, потому что в уступающем движении, как известно, большую силу можно развить, если абсолютная величина скорости больше (при этом алгебраическая величина ее меньше — скорость, направленная противоположно усилию, по определению, отрицательна). По сравнению с уступающим движением при статическом удержании скорость больше (нулевое значение больше отрицательного); значит, предельная сила меньше, так что далеко не каждому удастся развить силу давления на перекладину, равную весу тела. Поэтому удержать тело неподвижным в висе на согнутой руке значительно труднее. Что же касается подтягивания на одной руке, когда скорость больше, чем при удержании (движение преодолевающее, скорость положительна, т. е. больше нуля), то в этих условиях давить на перекладину с силой, равной весу тела, сможет только человек, обладающий очень сильными мышцами.

Другой пример — присесть с тяжелой штангой на плечах легко, удержаться с ней в положении полуприседа значительно труднее, а вот встать еще труднее. При этом, чтобы встать быстро, нужно обладать большей силой, чем для того, чтобы встать медленно.

В силовой игре, с которой начался разговор о зависимости «сила — скорость», мышцы побеждающего работают в преодолевающем режиме, мышцы побеждаемого — в уступающем. Если бы силовые возможности противников были одинаковы, тот из них, мышцы которого работают в уступающем режиме, смог бы развить значительно большую силу, чем тот, мышцы которого работают в преодолевающем режиме, и немедленно остановить «наступление» противника. Если силовые возможности одного из играющих выше, *он в состоянии в преодолевающем движении развить такую же силу, какую другой может развить лишь в уступающем движении* (рис. 35). При этом скорость перемещения рук такая, при которой предельная сила противников уравнивается — на рисунке [$v_{\text{общ}}$]. (Квадратные скобки означают, что указывается модуль, абсолютная величина скорости; знак ее, т. е. направление не учитывается, благодаря

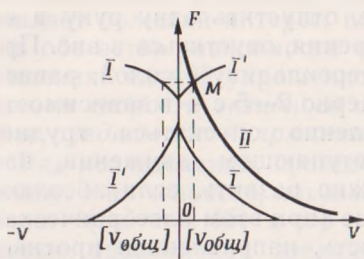


Рис. 35. Приложение графика зависимости «сила — скорость» к силовому противоборству

Кривая I' — зеркальное отражение кривой I относительно оси ординат: точки кривой I' получены из точек кривой I изменением знака скорости, т. е. изменением координаты V_i на $-V_i$; пересечение кривых I' и II дает точку M , в которой равны абсолютные значения скорости ($V_{общ}$) и силы, которые развивают противники

чему можно одинаково обозначить скорости уступающего и преодолевающего движений — ведь абсолютная величина их у обоих противников всегда одинакова, различен только знак.

Такое большое внимание уделяется зависимости «сила — скорость» незря: без ее учета просто невозможен анализ (и прежде всего КБА) многих физических упражнений, а в специальной литературе об этой зависимости говорится редко, тем более применительно к анализу двигательных

действий. В данном разделе, посвященном общим теоретическим вопросам, а не анализу конкретных групп упражнений, целесообразно сказать лишь о главном выводе, который следует из всего, что говорилось о зависимости «сила — скорость»: если нужно развить в каком-нибудь движении *как можно большую силу*, следует так построить его, чтобы оказалось возможным при *предельном* (обязательно предельном!) напряжении мышц выполнять это движение *как можно медленнее* — такой прием приведет к соответствующему увеличению предельной силы движения. Следует еще раз подчеркнуть: это не значит, что нужно уменьшить скорость движения путем уменьшения активности мышечной работы (будет совершенно неудовлетворительный результат). Речь идет о том, что следует так построить двигательное действие, чтобы *невзирая на максимальную энергичную работу мышц, невзирая на предельное их напряжение, движение все же протекало медленно*. Как этого добиться без приложения дополнительного внешнего сопротивления, которое неминуемо оказалось бы балластным, будет рассказано в разделе II.3.

1.3.5. Некоторые другие закономерности

На рис. 34 интервал $D = (P_{\text{ив}} - P_{\text{ин}})$ между ветвями кривой *I* и *II* означает, что при скорости $v=0$ предельная сила не определяется однозначно: ее значение лежит в диапазоне $P_{\text{ин}} - P_{\text{ив}}$. Необходимо разобраться в этом осложнении.

Нередко два борца во время проведения силового приема (или силовой части приема) сохраняют неподвижность при предельном напряжении мышц. Значит ли это, что в данных позах их силовые возможности равны? Нет, это маловероятно. Тем более что если в порядке опыта поменять их ролями, точно восстановив позы, эффект в случае сравнительно небольшой разницы в их силовой подготовленности зачастую окажется прежним. Внимательное наблюдение показывает, что один из них хоть незначительно поначалу поддается под нажимом партнера, затем стабилизирует позу. Этим и объясняется выравнивание сил противников: если статическому режиму работы непосредственно предшествовал преодолевающий, развиваемое мышцей напряжение не может превысить величину $P_{\text{ин}}$; если же непосредственным «предшественником» был уступающий режим работы, развиваемое напряжение может достигнуть величины $P_{\text{ив}}$. Получается так, как если бы величина развиваемой силы следовала ходу кривых графика: двигаясь из зоны преодолевающей работы, кривая упирается в $P_{\text{ин}}$; двигаясь из зоны уступающей работы, — в $P_{\text{ив}}$. По мере отдаления момента остановки (в последнем случае) величина предельного напряжения как бы сползает с $P_{\text{ив}}$ в глубь интервала D . Это, в частности, проявляется в том, что чаще всего периодически происходит некоторое изменение поз борцов — один из них каждый раз чуть-чуть поддается и тут же снова на некоторое время стабилизирует позу. Подавшись, он как бы вновь «заряжает» мышцы, поднимает их напряжение до уровня $P_{\text{ив}}$, то есть до верхней границы интервала (D).

Конечно, в реальных ситуациях дело обстоит куда более сложно, чем в схеме. Например, нередко оказывается, что защищающийся борец в состоянии противостоять проводящему прием даже не полностью напрягая мышцы (ведь интервал D велик; он в среднем равен, как показали данные эксперимента, приблизительно 0,2 от $P_{\text{ин}}$, а индивидуальные различия его довольно велики),

утомляется медленнее, и в результате меняется баланс силовых возможностей борцов.

Этот своего рода парадокс напряжения мышц в изометрическом режиме проявляется не только в статических упражнениях (спортивная гимнастика, акробатика) и в статических ситуациях (эпизодах) динамических действий (хотя бы тот же пример с борцами), но нередко и в самых динамических ситуациях, когда фиксируются суставные углы при большой нагрузке на мышцы, обеспечивающие эту фиксацию.

Эмоциональный фон стартового состояния обычно заметно поднимает потенциальные силовые и скоростные возможности спортсмена, что позволяет многим в условиях соревнований выполнять упражнения лучше, чем во время тренировочных занятий. Аналогично влияет высокая мотивация предстоящей двигательной деятельности. Однако не у всех спортсменов реакции на эти факторы благоприятны. У некоторых силовые и скоростные возможности, а также общий тонус мышц снижаются, в результате чего на соревнованиях такие спортсмены выполняют упражнения значительно хуже, чем во время тренировочных занятий. Подобным образом могут действовать и отрицательные эмоции, непосредственно не связанные с соревнованиями.

Наибольшего напряжения мышц можно добиться во время выдоха, примерно такого — при натуживании, существенно меньшего — на вдохе. Другая общезвестная истина: в дыхании принимают участие не только специальные дыхательные мышцы, но и такие, как большие грудные, малые грудные, мышцы брюшного пресса и некоторые другие. Поэтому в тех случаях, когда эти мышцы выполняют значительную роль в осуществлении двигательного действия, дыхание затруднено — это одна сторона вопроса. Оно может оказаться помехой осуществлению действия — другая сторона. Поэтому дыхание должно быть рационально скоординировано со всем комплексом движений, составляющим двигательное действие, должно входить составной частью в систему движений и действий, представляющих собой выполнение упражнения.

1.4.1. Энергетический аспект двигательных действий

Многие спортивные двигательные действия (спринтерский бег, легкоатлетические и акробатические прыжки, упражнения на гимнастических снарядах, метания, борьба, поднятие штанги и другие) требуют сообщения телу или снаряду за очень короткое время большой кинетической энергии, т. е. развития большой механической мощности ($N_{\text{ср}} = \frac{A}{\tau}$, где $N_{\text{ср}}$ — средняя мощность, A — работа, τ — отрезок времени, в течение которого выполнена работа). Чем больше мощность основных рабочих движений, тем лучшего результата можно добиться в выполнении двигательного действия (при условии правильного ее использования). Эта закономерность требует целесообразной организации всей системы движений и действий, определяющих кинематику упражнения: его общий рисунок, ритм, форму и скорости отдельных движений, соответствие этих характеристик мощности основных рабочих движений.

Механическая мощность, развиваемая мышцей при предельном напряжении, зависит не только от ее силы, но также и от скорости сокращения, т. е. от скорости изменения ее длины ($\frac{\Delta l}{\Delta t}$). Переводя это на язык суставных движений, можно сказать: предельная механическая мощность, развиваемая в суставном движении, зависит не только от силы соответствующих мышц, но и от скорости изменения суставного угла. Следует заметить, что такая формулировка нестрога, поскольку не принимает в расчет изменения плеч силы тяги мышц по ходу изменения суставного угла; но это обстоятельство нечасто играет существенную роль при КБА. *Наибольшей величины предельная механическая мощность преодолевающего движения достигает при скоростях, равных 0,2—0,5 максимальной, развиваемой при движении без сопротивления.* Поэтому обычно выгодно так строить двигательное действие, чтобы относительные движения последовательных звеньев динамической цепи происходили одновременно: тогда большая скорость рабочей точки цепи будет достигнута при существенно меньшей умеренной

скорости суставных движений (в результате суммирования скоростей).

При преодолевающем движении мощность его положительна, при уступающем — отрицательна, поскольку в первом случае направление силы совпадает с направлением скорости, во втором — противоположно. Необходимо знать, что предельная механическая мощность уступающего движения значительно больше предельной механической мощности преодолевающего движения, выполняемого с той же (по абсолютной величине) скоростью, т. е. человек всегда в состоянии развить гораздо большую отрицательную мощность, чем положительную. Различие это тем больше, чем больше алгебраическая разность скоростей (или, что то же, сумма абсолютных величин скоростей). Отсюда прямой и очень важный вывод: за счет работы одной и той же динамической цепи человек может уменьшить энергию своего или другого тела намного существеннее, чем увеличить: в энергетическом отношении результативность уступающих движений выше, чем преодолевающих.

Энергетический эффект работы биомеханической цепи определяется размахом выполненного движения, величиной и направлением воздействия на разгоняемое или останавливаемое тело. Поэтому важно так построить всю систему относительных движений звеньев этой цепи, чтобы сочетание названных факторов было оптимальным, притом с учетом других действующих на тело внешних сил (прежде всего сил тяжести и трения). Поскольку и в преодолевающих, и в уступающих движениях часто интерес представляет перемещение тела в определенном направлении, постольку важны проекции векторов воздействий и скорости тела на это направление. Они определяются умножением модулей векторов на косинусы углов между каждым из них и заданным направлением (для КБА достаточно грубых оценок).

Чем выше расположено тело, тем больше его потенциальная энергия в поле тяготения. Следовательно, чтобы поднять его на заданную высоту, нужно передать ему соответствующую энергию. Это достигается работой динамических цепей против сил тяжести и по преодолению инерционности тела. В спорте много таких двигательных действий, где подъем тела лишь частично, в начальной части пути, осуществляется под действием внешних сил, возникающих как следствие работы биомеханических

цепей тела. Это активный участок пути, путь разгона тела, оно здесь приобретает энергию. Дальнейший подъем тела (остальная часть пути) происходит за счет энергии, накопленной во время разгона, по инерции. Чем короче разгон тела при заданной высоте его подъема, тем больше должна быть развиваемая биомеханическими цепями мощность. Если человек на коротком пути не в состоянии выполнить работу, необходимую для подъема тела на заданную высоту, не может развить нужную для этого мощность, надо постараться так перестроить двигательное действие, чтобы либо появилась возможность увеличить мощность в фазе разгона, либо увеличился путь (а значит, и время) разгона, что позволит выполнить необходимую работу и при меньшей развиваемой мощности. Конечно, можно считать удачей, если удастся успешно использовать обе названные возможности увеличения сообщаемой телу энергии.

При опускании тела его потенциальная энергия частично переходит в кинетическую, частично гасится работой сил сопротивления (пассивных — сил трения, активных — обусловленных мышечными напряжениями). Если важно максимальное накопление телом кинетической энергии, следует поменьше мешать его свободному падению, а иногда даже увеличить активными воздействиями его скорость. Если же накопление телом большой кинетической энергии нежелательно, надо увеличить сопротивление его опусканию.

Кинетическая энергия поступательного движения тела равна $\frac{mv^2}{2}$, т. е. пропорциональна квадрату его скорости. Поэтому небольшое, казалось бы, увеличение скорости тела влечет за собой заметное увеличение его энергии. Если тело в безопорном состоянии имеет составляющую скорости, направленную вверх, высота его подъема (а значит, и накапливаемая им потенциальная энергия) пропорциональна квадрату скорости (рис. 36).

Кинетическая энергия вращательного движения тела вокруг его центральной оси равна $\frac{I_c \omega^2}{2}$ (I_c — момент инерции тела относительно центральной оси, ω — угловая скорость), т. е. тоже пропорциональна квадрату скорости, но угловой. Полная кинетическая энергия тела равна сумме энергий его поступательного и вращательного движений.

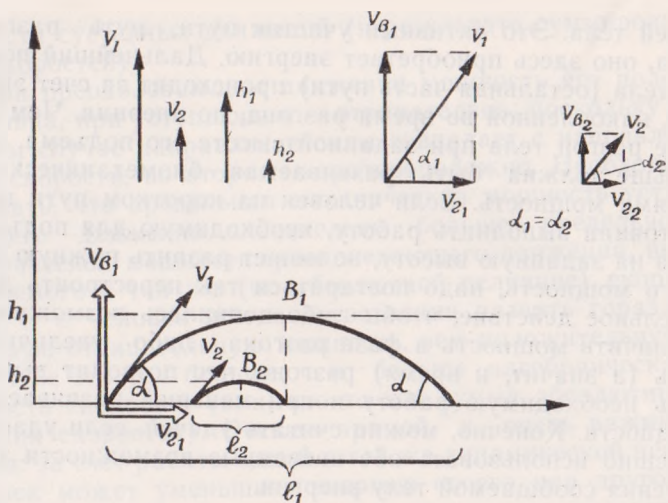


Рис. 36. Траектория свободного полета тела в поле земного тяготения:
 v — скорость вылета (начальная скорость полета) тела; h — максимальная высота подъема тела; B — вершина траектории; α — угол вылета тела (между вектором v и горизонталью); v_B и v_T — вертикальная и горизонтальная составляющие скорости v ; l — дальность полета тела (длина траектории)

Если внешняя сила действует на свободное тело центрально (линия ее действия проходит через ц. т. тела), она сообщает ему только энергию поступательного движения. Действуя на тело нецентрально (линия действия не проходит через ц. т. тела), внешняя сила сообщает ему одновременно энергию поступательного и вращательного движений. При этом соотношение энергий зависит от того, на каком плече относительно ц. т. тела действует сила, т. е. каков ее вращающий момент. Полная кинетическая энергия, сообщенная телу действием данной силы, равна произведению ее величины и длины пути, на котором она действовала на тело (если направление силы и пути одинаково). Тело может приобрести и одну лишь энергию вращательного движения — так действует пара сил (ведь у них нет равнодействующей).

Когда речь идет о длительной мышечной работе, вызывающей утомление, снижающей способность спортсмена развивать требуемую мощность работы, вопрос об энергии, необходимой для выполнения двигательного

действия, переходит в другую плоскость: он становится вопросом об энерготратах и о способности организма длительное время вырабатывать необходимую энергию за счет биохимических превращений. Тут нас должны интересовать прежде всего два момента: *энергетическая экономичность двигательных действий* и *повышение выносливости* (способности длительное время продуцировать химическую энергию, необходимую для выполнения требуемой работы). Первый момент будет затронут в настоящей книге, второй же относится к физической подготовке и потому здесь не рассматривается.

1.4.2. О траектории тел

В безопорном состоянии траектория тела predeterminedена в каждый момент вектором его скорости: величиной и направлением. Начальная скорость полета (или скорость вылета, т. е. скорость в момент прекращения контакта с опорой), в свою очередь, полностью predeterminedена теми воздействиями на тело, которые предшествовали моменту перехода в безопорное состояние. При анализе целесообразно разделять скорость тела в безопорном состоянии на вертикальную и горизонтальную составляющие.

Траектория тела в безопорном состоянии всегда имеет параболическую форму и расположена в вертикальной плоскости (при направлении скорости точно вверх или вниз парабола вырождается в вертикальную прямую).

Время полета определяется суммой времени подъема тела (после прекращения контакта с опорой) и времени его падения (до приземления или другого рода возобновления контакта с опорой). Часть траектории (см. рис. 36), соответствующая подъему тела, называется ее восходящей ветвью; соответствующая опусканию — нисходящей.

Высоту подъема подсчитывают по формуле $H = \frac{v_B^2}{2g}$, где v_B — вертикальная составляющая скорости вылета, g — ускорение тела в поле земного тяготения. Вертикальная составляющая скорости вылета $v_B = v \cdot \sin \alpha$, где α — угол вылета (угол между направлением скорости вылета и горизонтальной плоскостью). Горизонтальная составляющая скорости вылета $v_H = v \cdot \cos \alpha$.

При известной H время подъема определяется по формуле

$t_{\text{п}} = \sqrt{\frac{2H}{g}}$, при известной $v_{\text{в}}$ — по формуле $t_{\text{п}} = \frac{v_{\text{в}}}{g}$. Если

ц. т. тела в моменты его вылета и возобновления контакта с опорой находится на одном уровне, время полета равно удвоенному времени подъема, поскольку подъем и опускание происходят с одинаковым ускорением (приблизительно 10 м/с^2). В такой ситуации угол падения тела равен углу его вылета (см. рис. 36), а скорость падения — скорости вылета. Располагая этими данными, можно подсчитать дальность полета тела — l (длину траектории полета): она равна $v_{\text{г}} \cdot 2t_{\text{п}}$. Если в эту формулу подставить значения $v_{\text{г}}$ и $t_{\text{п}}$, выражая их через v и α , то получится:

$$l = v_{\text{г}} \cdot 2t_{\text{п}} = v_{\text{г}} \cdot 2 \frac{v_{\text{в}}}{g} = v \cdot \cos \alpha \cdot 2 \frac{v \cdot \sin \alpha}{g} = \frac{v^2}{g} \cdot \sin 2\alpha$$

(поскольку $2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \sin 2\alpha$).

Вершина траектории (В) расположена точно посередине пути. Максимальная дальность полета соответствует $\alpha = 45^\circ$: ведь $\sin 2\alpha = 1$ при $2\alpha = 90^\circ$, т. е. $\alpha = 45^\circ$, остальные значения $\sin 2\alpha$ меньше 1.

В тех случаях, когда уровень ц. т. тела в момент возобновления контакта с опорой иной, чем в момент вылета, расчет времени полета приходится вести в два приема: подсчитывать время подъема тела и затем (по той же формуле) время его опускания.

Поскольку сопротивлением воздуха в подавляющем большинстве двигательных действий можно пренебречь (массы значительны, скорости невелики), длину траектории — ее горизонтальную протяженность — вычисляют умножением горизонтальной составляющей скорости вылета на время полета. При таком допущении вычисленное время полета не зависит от его дальности, оно зависит только от высоты подъема и глубины последующего опускания. Следовательно, время полета полностью определено вектором скорости вылета и разностью высот ц. т. тела в начальный и конечный моменты.

На полет легких (мяч, волан) или «парящих» (копье, диск) снарядов существенно влияет сопротивление воздуха, поэтому траектория этих снарядов в безпорном состоянии не представляет собой параболу. Легкие снаряды заметно теряют скорость, на ее направление существенно влияет вращение снаряда. Оно в известной мере стабилизирует ориентацию «парящего» снаряда в пространстве, отчего все время полета сохраняется довольно значительный угол атаки по отношению к относительному

потоку воздуха. Возникает подъемная сила — снаряды «спарят», увеличивается время их полета, а значит, и его дальность, поскольку лобовое сопротивление этих снарядов очень мало.

На траекторию тела спортсмена в безопорном состоянии сопротивление воздуха существенно влияет только в том случае, если относительная скорость тела достаточно велика (например, при прыжках на лыжах с трамплина или затяжных прыжках с парашютом). Заметно влиять может и сильный ветер.

При перемещении в воде тело спортсмена движется не по параболе, а практически прямолинейно, поскольку на него все время действует выталкивающая сила, удерживающая его на поверхности (конечно, небольшие колебания вверх и вниз имеют место). При плытии траектория тела зависит главным образом от позы пловца: прогибаясь, он искривляет траекторию в сторону спины (назад), сгибаясь — в сторону груди (вперед). Это результат перераспределения давления относительного потока воды на участки тела в связи с изменением углов атаки тех или иных его звеньев.

Траектория тела при чередовании опорных и безопорных фаз представляет собой совокупность отрезков кривых. В безопорных фазах тело каждый раз движется по параболе. При контакте с опорой возникают силы взаимодействия, изменяющие характер движения центра тяжести тела. Во время контакта с опорой оно перемещается в полном соответствии с накопленным количеством движения и действующими силами, прежде всего силой тяжести тела и реакцией опоры. В зависимости от того, как направлена равнодействующая всех приложенных к телу внешних сил, оно приобретает то или иное ускорение, пропорциональное величине равнодействующей и также направленное. На рис. 37 схематически показаны траектория ц. т. тела бегуна (вид сбоку — верхний график) и графики его вертикального и горизонтального ускорений (средний и нижний графики). Поскольку скорость тела при установившемся беге в безопорном периоде практически неизменна, а в опорном сначала несколько снижается («передний толчок»), но тут же восстанавливается («задний толчок»), площади кривой с левой и правой штриховкой приблизительно равны между собой.

При наличии опоры траектория тела может быть самой разнообразной. Например, она может иметь форму,

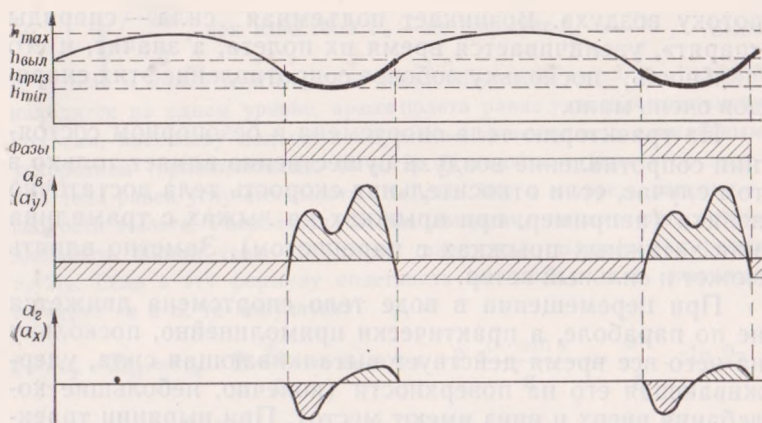


Рис. 37. Зависимость траектории тела от его ускорений: h_{max} и h_{min} — самая высокая и самая низкая точки траектории ц.т. тела; $h_{выл}$ и $h_{приз}$ — высота точки вылета (прекращения контакта с опорой) и падения (возобновления контакта с опорой); a_y — вертикальная составляющая ускорения (или ускорение по оси Y — a_y); a_x — горизонтальная составляющая ускорения (a_x)

близкую к окружности (в вертикальной плоскости — большие обороты на перекладине, в горизонтальной — «тодес» в фигурном катании на коньках) либо ломаной линии, лежащей в горизонтальной плоскости, со скругленными переходами от отрезка к отрезку (скоростной бег на коньках по прямой), либо вертикального отрезка, который ц. т. тела многократно проходит в противоположных направлениях (упражнения на кольцах, скрещивания на коне) и т. д.

На тело все время действует сила тяжести, направленная вертикально вниз. Поэтому, желая, например, в прыжке в длину с места обеспечить угол вылета равный 30° , человек должен развивать такие активные усилия, чтобы реакция опоры в среднем была направлена под значительно большим углом — скажем, 45° , поскольку на тело все время действует сила тяготения Земли. Соотношение ускорений тяготения Земли и отталкивания все время меняется, поскольку меняются суставные углы и скорости их изменения, что (особенно второе) существенно влияет на величину предельной силы движения, т. е. в конечном счете — на величину активной составляющей ускорения тела. Так как целесообразно выдерживать на-

правление равнодействующей все время приблизительно неизменным, реакцию опоры следует в процессе отталкивания менять в соответствии с желаемым соотношением рассматриваемых ускорений. Это немаловажный фактор увеличения дальности полета тела. Очень ярко проявляется он в толкании ядра, где при предельной активности движений в финальном усилии их сочетают так, чтобы в процессе разгона траектория снаряда была по форме возможно ближе к прямой линии. Однако достигать этого за счет снижения активных усилий на каких-то участках разгона неразумно, поскольку в таком случае меньше окажется скорость вылета.

1.4.3. Безопорные перемещения

Как уже говорилось, в безопорном состоянии спортсмен не может управлять перемещением ц. т. тела, траектория его predeterminedена величиной и направлением скорости вылета. Иначе обстоит дело с управлением вращательным движением. В рамках закона о сохранении кинетического момента, или момента количества движения, спортсмен может менять ориентацию своего тела и скорость его вращения вокруг любой из трех главных центральных осей: поперечной, продольной, переднезадней (сагиттальной).

Кинетический момент тела спортсмена остается практически неизменным все время, пока оно находится в безопорном состоянии, т. е. пока на него не действуют никакие внешние силы, помимо силы тяготения. Эта сила — центральная; она, не создавая момента относительно главных осей тела, не может влиять на вращательное движение. Если в фазе полета на тело хотя бы кратковременно воздействует какая-нибудь внешняя сила, картина может коренным образом измениться. Например, если гимнаст, выполняя сальто назад с перекладины, ударится ногами о гриф, он может упасть на руки из-за изменения направления вращения тела. (Следует заметить, что «парящий» полет в затяжном прыжке с парашютом или в прыжке на лыжах с трамплина нельзя в полной мере рассматривать как безопорное состояние: благодаря большой скорости полета сопротивление воздуха достигает значительной величины и может существенно влиять как на поступательное, так и на вращательное движение тела.)

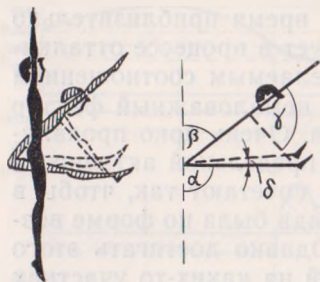


Рис. 38. Взаимосвязь перемещения звеньев тела в безопорном состоянии

звеньев неодинаков: ноги повернулись на угол $\alpha \approx 90^\circ$, тогда как туловище с поднятыми руками — на угол $\beta \approx 45^\circ$. Если дополнительно опустить руки к носкам ног, т. е. повернуть их на угол $\gamma \approx 90^\circ$, то ноги можно дополнительно повернуть рукам навстречу на угол $\delta \approx 20^\circ$, если сохранить положение туловища неизменным. Углы встречных поворотов звеньев тела обратно пропорциональны их моментам инерции относительно центральной (проходящей через ц. т. тела) оси, перпендикулярной плоскости движения — оси, вокруг которой происходит вращение тела в безопорном состоянии в соответствии с законом сохранения кинетического момента.

В связи с этим, в частности, влияние поворота одного звена на повороты других звеньев определяется главным образом его моментом инерции относительно центральной оси ($I_{ц}$) и углом поворота вокруг нее. Главным образом, но не только. Известную роль играет масса (m) звена, тангенциальная составляющая перемещения его ц. т. относительно ц. т. тела и расстояние (l) между ними: ведь момент инерции тела относительно оси вращения I_0 равен $I_{ц} + ml^2$ (см. 1.2). Обратившись снова к рассматриваемому примеру (рис. 38), можно заключить, что опускание рук к носкам ног, т. е. поворот на 90° (относительно туловища), вызовет больший встречный поворот остальных звеньев тела, чем дальнейшее опускание рук еще на 90° : расстояние между ц. т. рук и ц. т. тела во втором случае существенно меньше, тангенциальная составляющая перемещения — тоже. В тех случаях, когда тангенциальная составляющая перемещения ц. т. звена относительно ц. т. тела близка к нулю, компоненту ml^2 не следует учитывать.

Рассмотренный пример связан с изменением позы в случае, когда кинетический момент тела равен нулю. Иначе обстоит дело, если он отличен от нуля, причем чем быстрее вращение, тем значительнее различия. Ведь при повороте звена приобретает значение и радиальная составляющая перемещения ц. т. звена относительно ц. т. тела, т. е. увеличение расстояния между ними уменьшает скорость вращения всего тела в целом и наоборот.

Интерес представляют круговые движения отдельными звеньями тела, в результате которых достигается большой угол поворота звена (во-первых), а значит, и значительное влияние на вращение других звеньев тела и на положение их в пространстве (во-вторых), даже если восстановить начальную позу, т. е. проделать полный круг звеном. Речь об этом пойдет в II¹.

При достаточно быстром вращении тела вокруг поперечной оси можно уже после перехода его в безопорное состояние с помощью определенных асимметричных движений руками изменить ориентацию тела в пространстве, что приведет к его вращению и вокруг продольной оси.

Если телу от опоры задано вращение одновременно вокруг двух осей (обычно поперечной и продольной), продольная ось колеблется так, что ее концы выходят из плоскости, в которой было задано первоначальное вращение вокруг поперечной оси (поскольку тело вращается и вокруг продольной оси, продолжать говорить о вращении тела вокруг поперечной оси не приходится; следует говорить об оси, перемещающейся с ц. т. тела и колеблющейся около горизонтального положения)².

1.4.4. Опорные взаимодействия

В зависимости от выбираемых в соответствии с двигательной задачей критериев удобно делить опорные

¹ Подробнее о механической сущности влияния круговых движений отдельными звеньями тела на вращательное движение других звеньев см.: В. Б. Коренберг «Не только ножницы». «Легкая атлетика», 1962, № 4; Ю. К. Гавердовский и С. Д. Устинов «Снова о поворотах». В сб. «Гимнастика», вып. 1. М., ФиС, 1972; В. Т. Назаров «Биомеханика физических упражнений». Рига, Изд. Политех. ин-та, 1975.

² Подробно о механике сложного вращения тела человека в безопорном состоянии см.: В. Т. Назаров «Упражнения на перекладине». М., ФиС, 1973; Н. Г. Сучилин «Гимнаст в воздухе». М., ФиС, 1978.

взаимодействия на группы. Вот некоторые из таких классификаций:

1. *По характеру связи с опорой:* 1) с сильной удерживающей связью (например, хват за гриф перекладины, за ручки коня); 2) со слабой удерживающей связью (упоры на бревне, на теле коня, на кольцах); 3) с сильной не удерживающей связью (опора ногами, статическая опора руками о пол и т. д.); 4) со слабой не удерживающей связью (при приземлении на руки после длительной фазы полета и др.).

2. *По характеру опоры:* 1) с твердой неограниченной опорой; 2) с мягкой неограниченной опорой; 3) с ограниченной опорой; 4) с упругой опорой; 5) с подвижной опорой; 6) с активной опорой.

Следует заметить, что перечисленные свойства опор могут сочетаться (например, упругая подвижная опора, активная ограниченная опора). В таких случаях нужно учитывать все сочетающиеся особенности.

3. *По времени взаимодействия:* 1) с длительной опорой; 2) с кратковременной опорой; 3) с мгновенной опорой; 4) с недостаточным временем опоры.

4. *По нагрузочным характеристикам:* 1) максимальные взаимодействия; 2) умеренные; 3) слабые.

5. *По решаемым задачам (по назначению):* 1) увеличение линейной скорости тела; 2) направление поступательного перемещения тела; 3) коррекция поступательного перемещения тела; 4) сообщение телу вращательного импульса; 5) остановка тела; 6) обеспечение устойчивости тела.

6. *По локализации контакта с опорой:* 1) опора ногами (ногой); 2) опора руками (рукой); 3) опора туловищем; 4) комбинированная опора; 5) опосредствованная снарядом опора.

7. *По направлению ускорения относительно опоры:* 1) отталкивание; 2) притягивание; 3) касательное взаимодействие.

Эти группы опорных взаимодействий можно кратко охарактеризовать следующим образом.

1. *Сильная связь* в норме обеспечивает любой разумный запрос, предъявляемый существующими упражнениями. *Слабая связь* не удовлетворяет этому критерию, и приходится строить технику выполнения упражнения с учетом недостаточности связи. *Удерживающая связь* позволяет сохранять контакт с опорой, невзирая на дейст-

ние сил, отрывающих тело от нее. *Неудерживающая связь* с опорой позволяет только давить на нее.

2. *Неограниченной* следует называть опору, размеры и форма которой в норме практически не ограничивают возможности эффективного контакта с ней. *Ограниченной* — такую, недостаточность размера и особенности формы которой в норме затрудняют выполнение упражнения. Говоря о *подвижной* опоре, подразумевают как ее не управляемую спортсменом подвижность (нижний в групповой акробатике, гимнастические кольца), так и управляемую (лыжи, коньки, мотоцикл и др.). *Активная* опора — та, действие которой на спортсмена не ограничивается пассивной реакцией на его статический вес и на динамический эффект движений (к примеру, нижний в групповой акробатике бросает, опускает, ловит верхнего; борец опирается на противника, активные усилия которого также определяют возникающее взаимодействие; работа мотора мотоцикла и рельеф дороги существенно влияют на взаимодействие гонщика с машиной).

3. Примеры *мгновенного* взаимодействия с опорой — отталкивание в прыжках в длину с разбега, «жесткое» приземление гимнаста; *кратковременного* — взаимодействие с ковром борца, проводящего энергичный бросок, отталкивание лыжей или палкой; *длительного* — опора при медленных гимнастических упражнениях (силовых, например), опора лыжника ногами при одновременном бесшажном ходе, опора борца о ковер при проведении силового приема. Ситуации *недостаточности* времени опоры иногда возникают в борьбе, спортивной гимнастике, акробатике.

4. При *умеренных* взаимодействиях с опорой развиваются силы, близкие к статическому весу спортсмена или большие, но все же далекие от максимальных (например, при беге на длинные дистанции в легкой атлетике или конькобежном спорте, в значительной части упражнений спортивной гимнастики). *Слабые* взаимодействия характеризуются силами, значительно меньшими статического веса спортсмена.

5. Разделение опорных взаимодействий по назначению тоже во многом условно. Так, увеличение *скорости* поступательного движения обычно связано с одновременным определением его *направления*; сообщение телу *вращательного импульса* часто сопряжено с увеличением *скорости его поступательного движения* или входит в со-

став действий по *сохранению устойчивости тела*. Тем не менее в большинстве случаев можно довольно четко выделить главную задачу и соответствующие характерные особенности опорных взаимодействий.

6. Опосредствованная снарядом опора имеет место, например, в лыжном, конькобежном, велосипедном спорте, в прыжках с шестом.

7. Говоря о данной группе классификации, нужно кроме отталкивания иметь в виду и амортизацию, поскольку ускорение в обоих этих случаях направлено *от опоры*. То же касается и притягивания. Имеются в виду усилия притягивания, направление ускорения тела *к опоре*, а движение может быть и уступающим. К касательным взаимодействиям следует относить такие, при которых вертикальная составляющая реакции опоры ненамного превышает статический вес спортсмена либо меньше его.

Опорные взаимодействия — энергетическая основа двигательной деятельности в тех видах спорта, где главным является перемещение самого тела спортсмена (исключая плавание). Однако и в других видах спорта они играют огромную роль. КБА опорных взаимодействий производится на основании косвенных данных (поскольку приборные измерения не проводятся) — по кинематической картине движений. Это одна из центральных задач анализа двигательных действий спортсмена.

II. УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЬНЫМИ ДЕЙСТВИЯМИ

II.1. ЧЕЛОВЕК КАК САМОУПРАВЛЯЮЩАЯСЯ СИСТЕМА

II.1.1. Общие принципы самоуправления

Человек — чрезвычайно сложная система с точки зрения его двигательной деятельности. Определение это останется в силе даже в том случае, если отбросить такую сложную часть двигательной деятельности, как ее мотивация, выбор, подготовка, определение ее стратегии и стратегическая оценка ее результатов и т. п. Система остается чрезвычайно сложной и при ограничении ее функций решением конкретных, достаточно точно и однозначно поставленных двигательных задач с заранее определенными путями решения¹.

Простыми системами можно (если гарантирована их исправность) во многих случаях достаточно успешно управлять по схеме 4, а. Если этот принцип управления применить к двигательной деятельности человека, схема окажется несколько сложнее (4, б). Именно таким видели управление движениями те, кто объяснял двигательную деятельность с помощью одной лишь рефлекторной теории, пытаясь представить двигательные действия как стабилизированную цепь условных двигательных рефлексов. С отражением такой точки зрения приходится все время сталкиваться в литературе пятидесятых годов (а иногда и более поздней). Однако всеобщее признание кибернетических взглядов на управление движениями (в том числе взглядов Н. А. Бернштейна, которые он высказывал начиная с 1933 г.) привело к тому, что представления об уп-

¹ Более подробно см. В. Б. Коренберг «Надежность исполнения в гимнастике». М., ФиС, 1970, стр. 64—125.

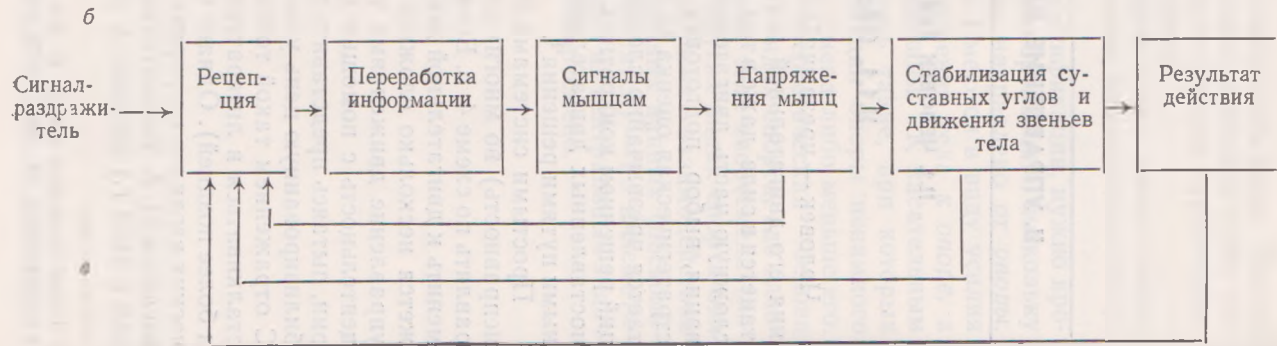
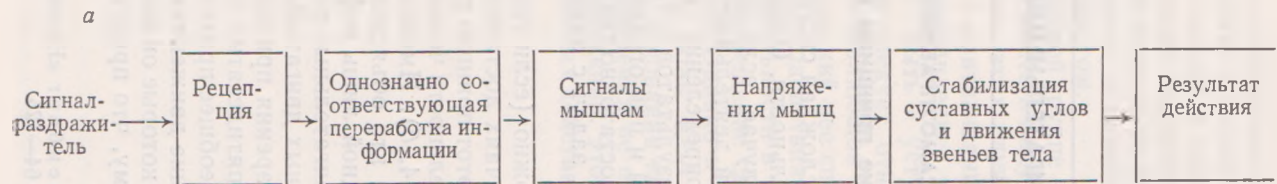
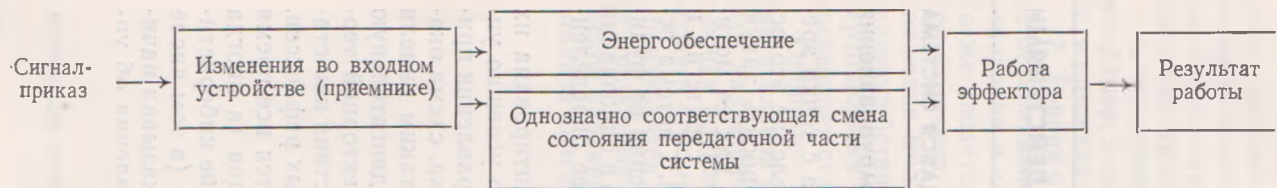


Схема 4. Простейшие варианты организации управления движениями

равлении движениями включили в себя понятие «обратная связь» (схема 4, в). Затем стало ясно, что не обойтись без процесса *сличения* реального хода движений и получаемого их результата с тем, что намечалось произвести (с программой движений и их результатов). Наряду с Н. А. Бернштейном в несколько иной форме об этом еще в тридцатые годы говорил П. К. Анохин (концепция «акцента действия»).

Одна из схем такого рода была предложена Л. В. Чхаидзе (схема 5). Особенность ее в том, что она содержит

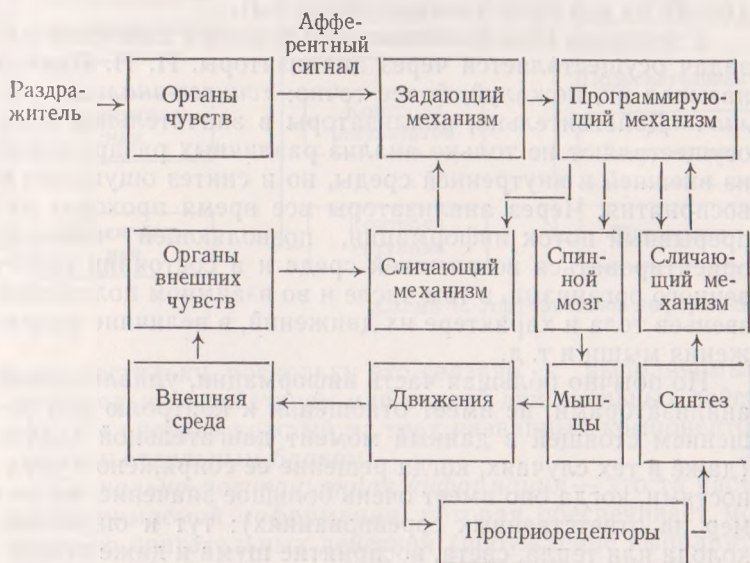


Схема 5. Управление движениями по Л. В. Чхаидзе

две ветви обратной связи: «внешнее кольцо» и «внутреннее кольцо». Внешнее кольцо функционирует на базе «органов внешних чувств», т. е. анализаторов, контролирующих внешнюю среду и взаимодействие организма с ней, а внутреннее — на базе проприорецепторов и интерорецепторов, т. е. опираясь на работу анализаторов, контролирующих движения и внутреннюю среду организма. По мысли автора схемы, внешнее кольцо обеспечивает контроль *результата движений*, внутреннее — контроль *самих движений*.

По-видимому, такое разделение должно вызывать

принципиальные возражения, поскольку дело в действительности обстоит куда сложнее: проприорецепторы и интерорецепторы нередко сигнализируют об особенностях внешних условий (и результата действий в том числе), а рецептивные системы, включенные во внешнее кольцо, — о ходе и особенностях протекания самих движений. Функции колец на самом деле отнюдь не разделены между собой, а, наоборот, тесно переплетаются. Схема Л. В. Чхидзе *субстратна* (ее блоки представляют системы организма) в отличие от схемы 4, в, которая *функциональна* (блоки на ней представляют процессы).

У человека обратная связь при решении двигательных задач осуществляется через анализаторы. И. П. Павлов называл их, пожалуй, более точно: «*синтез-анализаторами*». Действительно, анализаторы в значительной мере осуществляют не только анализ различных раздражений из внешней и внутренней среды, но и синтез ощущений в восприятия. Через анализаторы все время проходит непрерывный поток информации, позволяющей человеку ориентироваться во внешней среде и в состоянии собственного организма, в том числе и во взаимном положении звеньев тела и характере их движений, в величине напряжения мышц и т. д.

Но обычно большая часть информации, улавливаемой анализаторами, не имеет отношения к контролю над решением стоящей в данный момент двигательной задачи (даже в тех случаях, когда решение ее сопряжено с трудностями, когда оно имеет очень большое значение, например на ответственных соревнованиях): тут и ощущение холода или тепла, света, восприятие шума и даже отдельных выкриков болельщиков и многое другое. Кроме того, спортсмен в это же время активно воспринимает информацию, необходимую для решения последующих двигательных задач, а то и для их постановки. Короче говоря, анализаторы обеспечивают получение спортсменом информации самого различного рода, даже ненужной и мешающей. Поэтому целесообразно различать функционально разнородные компоненты информации, поступающей во время выполнения двигательного действия (схема 6).

Информация обратной связи относится к контролю над выполнением движений звеньями тела и всем телом, над перемещением предметов, партнеров или противников, над развитием ситуации (включая ее прогнозирование).

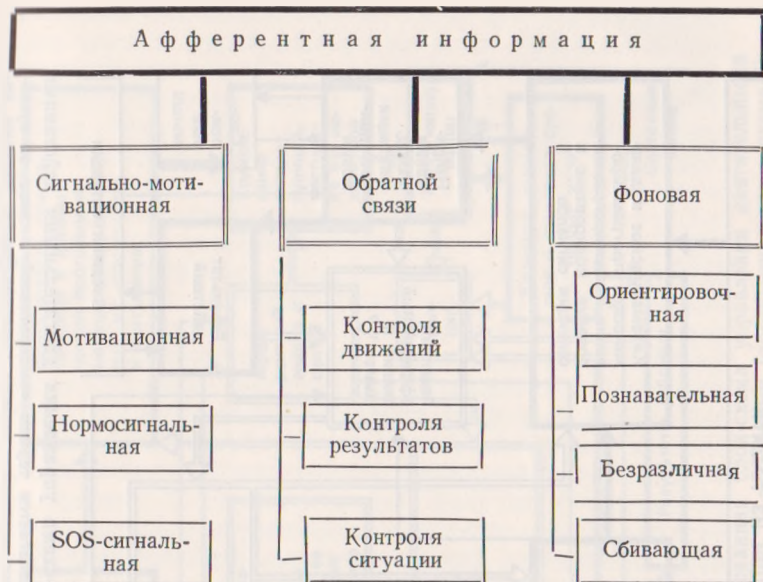


Схема 6. Аfferentная информация

ние) постольку, поскольку это связано с выполняемым двигательным действием или серией двигательных действий. На рисунке каждый из трех названных компонентов показан отдельным блоком.

Сигнально-мотивационная информация — это та часть воспринимаемой информации, которая обеспечивает мотивацию двигательных действий (побуждение выполнить их), «пусковой» сигнал к действию и, наконец, опознание и оценку опасной ситуации в случае ее возникновения, а также сигнал к «аварийным» действиям — к самостраховке. Соответствующие блоки тоже есть на рисунке.

Фоновая информация — это вся остальная информация. Ее составляющие: ориентировочная информация, позволяющая спортсмену ориентироваться в окружающей обстановке; познавательная информация, позволяющая накапливать различного рода знания; безразличная информация, не представляющая для спортсмена в данном случае никакого интереса, которую он воспринимает как бы попутно; сбивающая информация.

Три компонента информации обратной связи показаны в центре схемы 6. Но пока обратную связь следует

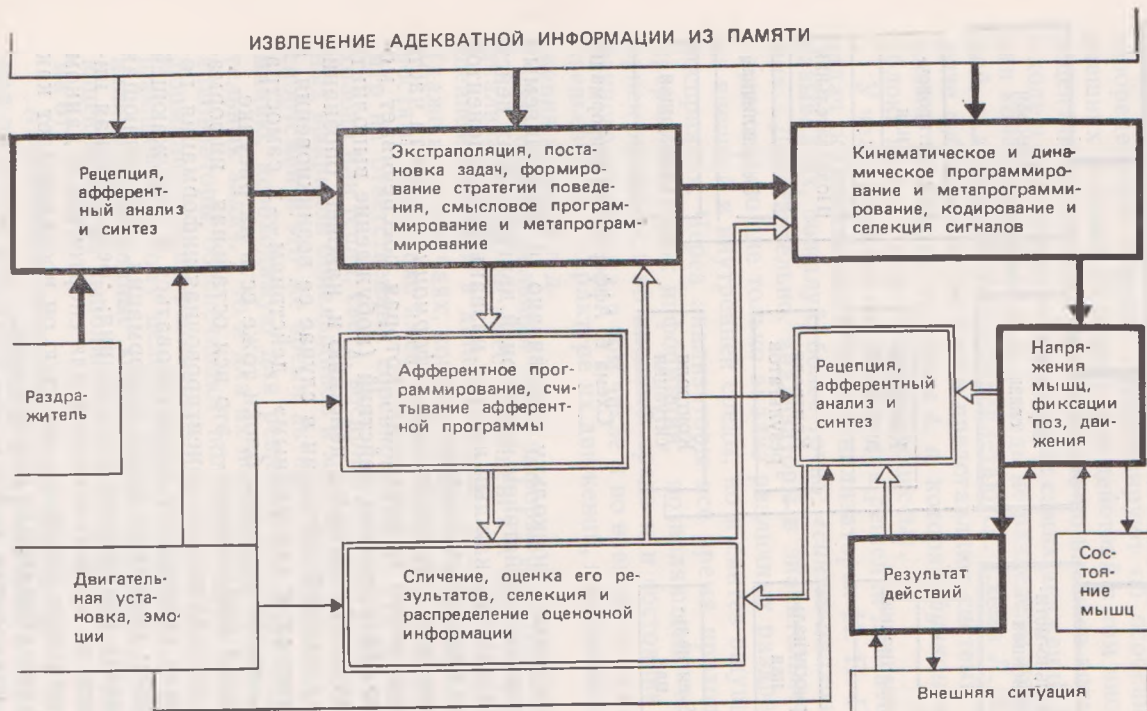


Схема 7. Предлагаемая рабочая блок-схема управления двигательными действиями. Жирными линиями даны блоки и стрелки системы прямой (предлагается термин «императивной») связи от пускового сигнала к эффектору и далее к эффекту действия; двойными линиями — система обратной связи; толстыми линиями — факторы, влияющие (неоднозначно) на процесс управления двигательными действиями и пути их влияния.

рассматривать как целое. С чем человек сличает информацию обратной связи, воспринимаемую по ходу выполнения двигательного действия? С планом движений? Но нельзя ведь сравнивать, сопоставлять ощущения и восприятия с планом — это различные категории явлений. Ощущения и восприятия можно сравнивать только с ощущениями и восприятиями или с их следами в памяти, с представлениями. Следовательно, чтобы сличать реальный ход движений с запланированным (запрограммированным), необходимо для каждого двигательного действия формировать *программу должных* (тех, которые должны возникать при правильном его выполнении) *ощущений и восприятий*, с которыми и сравнивать реальные ощущения и восприятия при решении данной двигательной задачи. Эту часть двигательной программы (*афферентную часть*) логично назвать *афферентной программой*. На функциональной блок-схеме 7 управления двигательным действием блоки 2, 3, 7, 8 чрезвычайно укрупнены: каждый из них замещает несколько самостоятельных блоков. Для рассмотрения данного вопроса такая упрощенная схема вполне удовлетворительна. Однако для желающих глубже разобраться в нем на схеме 8 приведена более детализированная (и уже потому более содержательная в «управленческом» аспекте) блок-схема.

II.1.2. Немного информации об информации

Все уже основательно привыкли к слову «информация»: информация обратной связи, информация прямой связи¹, преобразование информации и т. д. и т. п. Но с этим понятием следует обращаться аккуратно. Без особых тонкостей можно обойтись, однако некоторые положения знать необходимо.

Анализаторы, как известно, включают в себя рецепторы, проводящие пути и центральные части — участки головного мозга. Эти три части анализатора способны справляться с неодинаковым количеством информации. Существует понятие «пропускная способность информационного канала». Так вот рецепторы могут воспринять значительно большее количество сигналов, чем проводя-

¹ Представляется логичным называть ее системой *императивной* связи (от лат. *imperatum* — приказ, предписание).

щие пути в состоянии за то же время преобразовать и передать в центральную часть; в свою очередь, центральная часть анализатора не может переработать за то же время такое количество сигналов (элементов информации), которое могут доставить ей проводящие пути. Здесь со-

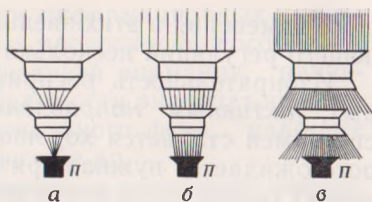


Рис. 39. Иллюстрация «принципа воронки»

блюдается «принцип воронки». Правда, на рис. 39 изображена не воронка, а две трубки с раструбами: это точнее иллюстрирует «принцип воронки». Выходные концы труб «эластичны». При слабом напоре, при малом потоке они сужаются к выходному отверстию и направляют *весь поток* в раструб следующей трубы. Но с увеличением напора поток расширяет выходное отверстие, так что оно может оказаться большим по диаметру, чем труба, и чем сильнее напор (сверх какой-то нормы, иллюстрируемой средним рисунком), тем большая часть потока минует раструб следующей трубы и «пропадет». Следует учесть, что форма «струи» не безразлична и на выходе двухзвенной воронки. Лучше других вариант «б»: при варианте «а» возможности как элементов «воронки», так и следующего за ней «приемника» (П) используются не полностью, при варианте «в» имеет место перегрузка и как следствие — потери информации.

Следовательно, желательно воспринимать *не максимальное количество информации, а определенный оптимум*. Как этого добиться? Тут три основных пути: 1) избирательное восприятие информации, 2) предварительное кодирование ожидаемой информации, 3) дифференцированное восприятие информации.

Избирательность восприятия информации обеспечивается, во-первых, *психологической установкой* на восприятие информации только определенного рода. Например, выполняя стойку на руках, целесообразно незначительно балансировать, пользуясь в основном проприорецептивной информацией от суставов пальцев рук и лучезапястных суставов. «Замечать» проприорецептивные сигналы с плечевых суставов и суставов поясничного отдела позвоночного столба надо только в случае очень значитель-

ного изменения в этих звеньях динамической цепи, требующего регуляций несколько более высокого уровня.

Избирательность восприятия обеспечивается, во-вторых, *активным направленным поиском* информации: спортсмен старается хорошо видеть тот объект, от которого ожидается нужная зрительная информация, поворачивает голову к предполагаемому источнику важной звуковой информации и т. д.

Предварительное кодирование ожидаемой информации может осуществляться двумя способами: 1) из целого комплекса элементов информации, который, по предположениям, должен возникнуть, выбираются несколько элементов, удовлетворительно характеризующих весь комплекс (а значит, и способных заменить его), и активный поиск информации направляется на их восприятие, другие же элементы «гасятся» как индифферентные; 2) комплекс элементов информации заменяется другим, более простым. Пример первого приема: вместо сложного рисунка на спортивной форме партнеров или противников хоккеист обращает внимание лишь на ее цвет (предположим, красный у партнеров и белый у противников) либо даже на еще более простую характеристику (темная форма у партнеров, светлая у противников). Пример второго приема: в силовой паре акробатов нижний определяет отклонения верхнего от положения равновесия в стойке на руках не по всему комплексу признаков, определяющих положение его тела в пространстве, а по характеру давления пальцев.

Дифференцированное восприятие информации основано на свойстве нервных механизмов, и в частности рецепторов адаптироваться к стабильным, неизменяющимся раздражителям (человек, например, не замечает воздействия одежды и обуви, если они не причиняют боль, не замечает стабильного шумового фона). Происходит и адаптация к изменяющимся по простым законам раздражителям: сидя в поезде, вскоре перестаешь слышать стук колес и чувствовать толчки при проходе рельсовых стыков. Зато быстрое изменение раздражителя по силе или по характеру проявления замечается хорошо. Подчас именно *изменение* раздражителя, а не его стабильное проявление несет необходимую информацию. Так, борец по быстрому изменению силового воздействия на него противника сразу понимает, что тот пытается начать проведение приема (но это может означать и ложную атаку).

Чтобы избежать перегрузки информационных каналов, надо также *увеличивать их пропускную способность*. Этого удастся достичь мобилизацией внимания, рациональным распределением возбудимости анализаторов, созданием оптимального эмоционального фона, наиболее подходящих условий деятельности и др.

К вопросу о потере информации в результате несоответствия ее количества пропускной способности информационных каналов примыкает другой вопрос — об искажении информации, которое зачастую опаснее ее потери. Искажение может быть связано как с обманчивостью раздражителей (например, восприятие финтов противника, непривычная реакция опоры нестандартных снарядов, неверные зрительные восприятия из-за дефектов освещения и т. п.), так и с искажениями информации в процессе ее преобразования нервной системой. Тут закономерно возникают три проблемы: 1) предотвращения искажения, 2) компенсации искажения, 3) своевременного выявления и квалификации допущенного искажения.

Чтобы *предотвратить искажение информации*, спортсмен может применять *помехоустойчивое кодирование*, например выбирать ясные устойчивые ориентиры (проприорецептивные, зрительные, тактильные), которые, будучи хотя и не прямой, а косвенной информацией о выполнении движения или о внешней ситуации, по какой-то причине меньше подвержены искажениям, чем прямая информация. Другой тип кодирования — выделение определяющих ощущений и восприятий в решающие моменты выполнения двигательного действия; они должны заменить значительно более обширный комплекс всех ощущений и восприятий, сопровождающих выполнение этого действия. Таким образом резко уменьшается объем контролирующей информации и соответственно вероятность «накладывания» одних сигналов на другие (интерференция информации), упрощается преобразование информации анализаторами и нервными центрами головного мозга. При этом спортсмен получает всю существенную часть информации, необходимую для контроля над движениями.

Следует заметить, что нередко бывает целесообразно закодировать определяющие ощущения и восприятия целостными восприятиями таких частных действий, которые хотя и не входят в состав выполняемого двигательного действия, но имеют важные общие черты с его частны-

ми действиями. Например, когда гимнаст или акробат хочет выполнить сальто назад в группировке после фляка, ему легче всего проконтролировать правильность отталкивания ногами, стараясь представить себе, что он выпрыгивает вверх и стремится достать потолок руками; если воспринимается ощущение максимального вытягивания всего тела в прямую линию с сопутствующим специфическим ощущением в области поясницы, значит, отталкивание выполнено полноценно, активно до самого его завершения.

Компенсация искажения информации достигается ес *дублированием* — восприятием дополнительного комплекса ощущений, который позволяет полностью или частично проконтролировать выполнение двигательного действия. Таким образом, в случае искажений в основном комплексе ощущений дублирующие ощущения часто позволяют «установить истину». Например, зрительно борец воспринимает положение противника как устойчивое, однако, потянув его «на себя», убеждается (с помощью проприорецептивного анализатора) в том, что устойчивость недостаточна и можно проводить прием. Или: баскетболист ведет мяч; в основе обратной связи лежит информация, получаемая с помощью зрительного и проприорецептивного анализаторов (здесь уже имеет место частичное дублирование: ведь можно вести мяч и без контроля зрением), но спортсмен дополнительно использует дублирующую информацию, предоставляемую тактильным и звуковым анализаторами. Так, если звук при отскоке мяча слабый, надо толкнуть мяч сильнее и т. д. Однако дублирование информации ведет к резкому увеличению ее объема, а значит, и к повышению вероятности частичной ее потери или искажения. Поэтому данным приемом злоупотреблять не следует; он эффективен лишь в тех случаях, когда объем основного комплекса ощущений невелик и перегрузка информационных каналов исключена либо когда вероятность искажений велика и потому дублирование необходимо. Дублирующие ощущения могут быть другой модальности, нежели основные (т. е. могут быть получены посредством другого анализатора), либо той же модальности. В последнем случае обычно должна быть определенная временная последовательность основного и дублирующего ощущений. Иногда имеет смысл и двукратное дублирование.

Если искажения не удалось избежать, надо по край-

ней мере его *своевременно обнаружить*. Выявление искажения информации возможно только с опорой на последующие ощущения и восприятия. Например, волейболист неверно определил (предположил) траекторию мяча при подаче противника. От того, заметит ли он свою ошибку (причем заметит своевременно, пока еще есть возможность переменить свое место на площадке нужным образом), зависит, сумеет ли он принять мяч.

Искажение информации часто является следствием эмоционального напряжения или сильной усталости, поскольку эти состояния сопровождаются нарушением адекватности проприорецептивных ощущений и восприятий действительным нагрузкам на звенья динамической цепи. Чтобы предупредить искажения проприорецептивной афферентации, следует, с одной стороны, по мере возможности избегать чрезмерного эмоционального напряжения и значительного утомления при выполнении двигательных действий, а с другой — приобретать опыт самоконтроля, учиться вносить в восприятие необходимые поправки в соответствии со своим необычным состоянием.

Если в одних спортивных ситуациях серьезной угрозой является чрезмерная *избыточность* информации о ходе выполнения движений, то в других — ее *неполнота*. Как правило, чем выше класс спортсмена, тем более детальной и в то же время соответствующей пропускной способности информационных каналов является информация обратной связи.

II.1.3. Двигательная программа: формирование и реализация

При анализе техники выполнения спортивных двигательных действий в свете данной проблемы приходится сталкиваться с некоторыми принципиальными вопросами. Чаще всего это вопросы о согласовании кинематической и динамической программ, о связи двигательного программирования и двигательного навыка (в частности, об афферентной программе как информационной основе двигательного навыка), о метапрограммировании (см. стр. 103) как чисто двигательной и тактической задаче, о стратегическом аспекте двигательного программирования.

Вопрос о согласовании кинематической и динамической программ — один из коренных, тем более что в спор-

те требования к проявлениям двигательных возможностей человека очень высоки. Первым поставил в полный рост эту проблему Н. А. Бернштейн, указав на ее огромные принципиальные трудности, преодоление которых возможно только благодаря функционированию сложнейшей «многоэтажной» системы управления двигательными действиями¹. Он показал, что кинематика движений неоднозначно зависит от системы напряжений мышц, показал невозможность управления движениями без коррекций, основанных на определении разницы между реальным движением и его планом, а также без «экстраполяции будущего», т. е. без прогнозирования предстоящих ситуаций в процессе выполнения двигательных действий.

Здесь представляется целесообразным коснуться только отдельных сторон этого обширного вопроса, не освещенных в специальной литературе.

Прежде всего следует обратить внимание на то, что в конечном счете эффективность почти каждого двигательного действия определяется его кинематическими характеристиками: полет снаряда или мяча зависит от скорости вылета и вращения вокруг центральной оси, т. е. скорости рабочей точки кинематической цепи и формы завершающих движений при выпуске снаряда; результат в легкоатлетических прыжках, скорость бегуна, конькобежца — от скорости ц. т. тела в момент окончания отталкивания ног и т. д. Однако *примат кинематики* имеет место только в том случае, когда форма и скорость движений являются заданными, заранее определенными, когда динамику надо подстраивать именно под эту заданную форму, под эту заданную скорость, а не тогда, когда неважно, какова форма движений, лишь бы дальше полетел снаряд, лишь бы «прошел» прием, быстрее перемещался ц. т. тела. Иначе говоря, когда форма хотя и решает многое, но не регламентирована правилами вида спорта.

В первом случае, когда кинематика движений представляет собой самоцель, задача управления движениями если и не сводится к задаче регулирования, то, во всяком случае, значительно сближается с нею, поскольку нужно избегать отклонения движений от заданного рисунка.

¹ Н. А. Бернштейн. О построении движений. М., Медгиз, 1947; Н. А. Бернштейн. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М., «Медицина», 1966.

Поэтому спортсмен изменяет динамику движений (и в первую очередь активные мышечные усилия) как бы полифонически: ведя основную «мелодию», т. е. формируя систему мышечных напряжений в соответствии с идеальным вариантом достижения нужного общего рисунка двигательного действия, он как бы модулирует эту часть мышечной активности второй «мелодией»: напряжениями и расслаблениями, необходимыми для ликвидации отклонений движений от их прототипов в идеальном варианте выполнения данного действия¹.

Способность каждый раз по желанию формировать такую систему напряжений и расслаблений мышц (как пространственного, так и временного рядов, т. е. пространственно-временного комплекса), которая обеспечивает (в идеализированном случае — когда не нужны коррекции) правильное выполнение определенного двигательного действия, есть результат освоения двигательного навыка. Однако существенной его характеристикой является и способность по ходу выполнения двигательного действия целесообразно менять динамику движений (перестраивать пространственно-временной комплекс напряжений мышц) с целью сохранения заданного рисунка упражнения (пространственно-временного комплекса движений).

Необходимость такой перестройки (более или менее глубокой) возникает практически всегда, поскольку всегда в чем-то нестандартны внешние условия, состояние организма спортсмена (в частности, психическое), неминуемы различные двигательные ошибки или, по крайней мере, неточности, начиная с того, что в ответ на стандартную импульсацию мышцы она отвечает каждый раз неодинаковым напряжением, в работу вовлекается неодинаковое количество двигательных единиц. А ведь даже очень незначительный разброс этой величины, учитывая сложность системы движений и множество степеней свободы двигательного аппарата человека, а также деформацию тканей тела и неконгруентность либо неполную конгруентность суставных поверхностей, приводит к значительным отклонениям движений от их заданного рисунка.

¹ Здесь имеется в виду не идеальная техника выполнения упражнения, а идеально (без отклонений от задуманного) реализованный вариант его техники, выбранный спортсменом с учетом своих двигательных возможностей и реальных условий.

ка. Но существуют и другие причины: ошибка или просто двигательные коррекции партнера, гимнастический снаряд, в той или иной мере отличающийся от привычного, требуют изменения динамики движений. Нечего и говорить, что, допустив незначительную двигательную ошибку, спортсмен, не давая ей перерасти в значительную, должен срочно перестроить динамику движений, тем самым избегая существенного отклонения от кинематической программы.

Вопрос о согласовании кинематической и динамической программ имеет и обратную сторону: реализация правильной кинематической программы позволяет лучше решить главную задачу динамической программы — энергетическое обеспечение выполнения упражнения. Эта сторона выступает на первый план при выполнении таких двигательных действий, как бег, прыжки, метания, плавание, борьба и т. п.

Своеобразно согласуются кинематическая и динамическая программы в точностных движениях: служебная роль первой относительно второй чрезвычайно незначительна, к тому же кинематика движений и сама кинематическая программа могут быть широко вариативны во всем, что не касается заключительной части двигательного действия (или частного действия, если речь идет о двигательном действии, включающем точностные движения лишь в качестве составной части). Эта часть двигательного действия должна реализоваться строго по кинематической программе, соответствующей поставленной задаче. Широко вариативной на протяжении почти всего действия может быть и динамическая программа, но в заключительной его части она тоже перестает быть такой. Главным становится требование обеспечить возможность точной реализации этой части кинематической программы, что в связи с вариативностью обеих программ требует каждый раз особого сочетания, особой системы мышечных напряжений.

Трудность здесь в том, что эту небольшую часть динамической программы приходится формировать экспромтом, почти мгновенно экстраполируя двигательную ситуацию концовки точностного действия. При этом огромная роль заранее выделяется коррекциям, основанным на выявлении и оценке рассогласований реальной кинематики движений с их кинематической программой. Поэтому совершенствование навыка выполнения точностных дейст-

ний (частных, двигательных) обычно протекает по двум этапам: 1) постепенно в той или иной мере — в зависимости от характера деятельности — стабилизируются кинематическая и динамическая программы действия, что влечет за собой стабилизацию кинематики и динамики всей соответствующей системы движений; 2) повышается тонкость дифференцировок необходимых кинематических и динамических характеристик движений, так или иначе связанных с решением поставленной двигательной задачи.

Связь двигательного программирования с двигательным навыком можно рассматривать лишь четко определив, что такое двигательный навык. К сожалению, до сих пор еще бытует мнение, что навык и даже умение — одна из форм двигательных действий¹. Конечно же, согласиться с этим трудно. Двигательные умение и навык не формы двигательных действий, а *приобретенные способности выполнять определенные двигательные действия*. Умение — под всесторонним контролем сознания, навык — в значительной мере автоматически.

Способность выполнять двигательное действие — это, очевидно, во-первых, способность достаточно хорошо программировать его кинематику и динамику и на их основе обеспечивать соответствующую импульсацию мышц; это, во-вторых, способность достаточно хорошо реализовать кинематическую и динамическую программы. Главные трудности при решении первой задачи состоят в таком построении динамической программы движений, при которой она соответствовала бы требуемой кинематической программе (наш двигательный опыт позволяет без особого труда сформировать *кодovou программу*, т. е. программу импульсации мышц, соответствующую построенной динамической программе). Решение же второй задачи зависит в информационном плане главным образом от дифференциальной программы, от качества (в первую очередь содержательности и адекватности) информации обратной связи, от метапрограмм², обеспечивающих выполнение

¹ «Энциклопедический словарь по физической культуре и спорту», т. I. М., ФизС, стр. 247.

² Метапрограмма (греч. meta — за, позади) — программа программ, ведающая программами (их коррекцией или сменой). В нее должны входить «набор» кодовых сигналов, «включающих» и «выключающих» соответствующие вероятной ситуации компоненты двигательной программы, а также критерии выбора оптимального их варианта;

двигательного действия невзирая на допущенные двигательные ошибки, сбивающие обстоятельства и прямые помехи. Но помимо информационного плана существует нечто в известном смысле стоящее над ним — физические возможности данного спортсмена. Нельзя выработать навык на базе недостаточных физических возможностей. Здесь имеются в виду не физические качества вообще (сила, быстрота, выносливость, гибкость, ловкость), а локальные проявления их (точнее, первых четырех из них), индивидуальная способность энергетически и по пространственным характеристикам обеспечить реализацию кинематической и динамической программ.

Для спортивной педагогики вопросом первостепенной важности является четкая дифференциация названных двух компонентов двигательного навыка (разумеется, во многом условная, но принципиально оправданная). Становление первого из них — способности обеспечить двигательное действие приемлемыми смысловой, кинематической, динамической и кодовой программами — происходит в основном в процессе теоретического и практического ознакомления с данным двигательным действием. Теоретическое ознакомление включает в себя наблюдение за выполнением действия другими спортсменами, изучение его по кинограммам, кинокольцовкам, рисункам и другим наглядным пособиям, анализ его техники. Практическое ознакомление происходит в процессе разучивания двигательного действия расчлененным методом либо целостным, но в облегченных условиях, на стадии освоения его «вчерне» (при условии принципиально правильной техники выполнения). И хотя в дальнейшем спортсмен совершенствует эфферентную ветвь двигательной программы (смысловая — кинематическая — динамическая — кодовая программы), уточняет ее и обогащает деталями, эта сторона задачи приобретения навыка в основном может считаться решенной.

Сложнее обстоит дело с приобретением способности к реализации этой ветви двигательной программы. Оставляя в стороне уже упоминавшееся выше значение физических возможностей, следует отметить значение быстро-

кодковые сигналы, «включающие» программу «SOS», а также критерии выбора оптимального ее варианта; программы коррекций компонентов двигательной программы в соответствии с вероятными ситуациями, критерии оценки вероятных ситуаций (см. также В. Коренберг «Надежность исполнения в гимнастике». М., ФиС, 1970).

ты реакций и необходимость правильного сочетания объективности и субъективности в той части афферентации, которая составляет информацию обратной связи. Имеется в виду, что при сохранении объективной основы восприятий следует учитывать индивидуально сложившиеся ассоциации и субъективность ощущений, опираясь на которые человек тоньше и достовернее определяет и оценивает различные раздражители. Поэтому афферентная программа в большинстве случаев должна носить выраженную субъективную окраску: субъективные восприятия и оценки представляют собой как бы закодированное (удобно и помехоустойчиво) отражение объективной действительности, которое раскодируется реакциями на них, вполне соответствующими правильным реакциям на объективные раздражители. Совсем не обязательно информация обратной связи должна содержать только объективные ощущения и восприятия. Они могут быть существенно искажающими действительность. Важно только, чтобы соответствующие элементы афферентной программы, с которыми должны сравниваться (сличаться) эти ощущения и восприятия, были точно такими же, чтобы спортсмен целесообразно реагировал на рассогласование, если оно возникает.

Существенные трудности в формировании афферентной ветви двигательной программы встречаются спортсмена, как правило, тогда, когда он пытается освоить принципиально новое для себя двигательное действие. Обычно же информационной основой, определяющей успешность становления двигательного навыка, является афферентная программа: если она правильно сформирована, стабильна (т. е. неизменна при различных попытках выполнения двигательного действия), если имеется рациональная программа реакций на рассогласовывание реальных ощущений с соответствующими элементами афферентной программы, можно считать (при достаточных физических возможностях), что навык уже имеется. При освоении двигательного действия главная педагогическая задача — формирование и закрепление афферентной программы, адекватной задачам управления движением в данном двигательном действии, и затем, на стадии совершенствования навыка, — эффективных метапрограмм.

По мере совершенствования навыка афферентная программа развивается, но совсем не обязательно это развитие идет по линии увеличения числа элементов. Наоборот,

нередко совершенствование заключается в отбрасывании необязательных, избыточных элементов информации, что позволяет без искажений обрабатывать ее и одновременно какую-то долю внимания уделять другим аспектам двигательной деятельности. Аfferентные программы развиваются по пути уточнения ориентиров для аfferентной ветви двигательной программы (линия прямой, императивной связи), т. е. сигнально-пусковых раздражителей, ориентиров для сличения и ориентиров для метапрограмм (оценочных ориентиров, показывающих, чем и насколько серьезно грозит то или иное отклонение реальных движений от запрограммированных). В процессе развития и совершенствования аfferентных программ одни ориентиры могут заменяться другими, более помехоустойчивыми либо просто ставшими доступными для эффективного использования в результате возросшего мастерства. Наконец, по мере закрепления и совершенствования навыка аfferентная программа легко, быстро и во всех деталях мобилизуется, т. е. «извлекается из памяти» по первому требованию и предстает в сознании четко и ярко.

Формирование метапрограмм преследует две цели. Первая — чисто двигательная: управлять коррекциями движений, корректировать кинематическую и динамическую программы, а если надо, то и заменить их запасными, в случае необходимости использовать программу «SOS». Иными словами, метапрограммы призваны обеспечивать возможно лучшее решение двигательной задачи (невзирая на двигательные ошибки и препятствия) либо ликвидацию опасности травмы. Метапрограммы строятся с учетом индивидуальных двигательных возможностей и особенностей, а также притязаний на качество выполнения двигательного действия. Само собой разумеется, разным двигательным действиям соответствуют различные метапрограммы. Они обогащаются с увеличением опыта выполнения данного двигательного действия и в зависимости от двигательной зрелости, аналитических способностей и установок спортсмена и его тренера.

Вторая цель, преследуемая формированием метапрограмм, — тактическая: метапрограммы регулируют выполнение двигательных действий по критериям их эффективности, риска невыполнения, риска получения травмы, утомления, надежности выполнения других, последующих двигательных действий, так или иначе связанных с дан-

нами. Например, борец проводит прием «с оглядкой» на возможные неблагоприятные последствия в случае неудачи. В связи с этим в метапрограммах выполнения приема должны быть предусмотрены изменения кинематической и динамической программ в случае, если по тем или иным причинам реальное проведение приема не соответствует этим программам (то ли из-за двигательной ошибки, то ли из-за неожиданных действий противника) и появляется реальная опасность «попасть» на контрприем. Изменение должно быть таким, чтобы по возможности обезопасить себя и, если представляется возможным, использовать неудавшийся прием для подготовки к другому. Гимнаст, убедившись, что из-за не вполне удачного начала произвольной комбинации на коне рискует не выполнить круг прогнувшись и без дохвата выход, может избежать затруднительного положения, если тут же перестроится на выполнение обычного круга прогнувшись, с тем чтобы после одного-двух дополнительных кругов еще раз попытаться выполнить неудавшийся элемент.

Несколько слов о стратегическом аспекте двигательного программирования. Если нужно распределить свои силы на достаточно длительный период времени, следует программировать не максимально энергичные движения и действия, а такие, которые позволяли бы сохранить необходимую работоспособность в течение всего периода. Учитывая легкое повреждение руки, гимнаст несколько перестраивает привычную технику выполнения различных элементов, чтобы избежать серьезной травмы. Экономия своих «взрывные» возможности, прыгун в высоту при преодолении первых высот отталкивается не в полную силу. Соответственно эфферентной ветви двигательной программы деформируется и афферентная программа.

Стратегические соображения во многом определяют содержание метапрограмм. В самом деле, заложенные в них оценочные критерии и программы коррекций или смены программ могут существенно меняться хотя бы в зависимости от значимости для спортсмена того или иного двигательного действия. На содержание метапрограммы влияют и другие факторы: мастерство противника, необходимость избежать утомления или отсутствие такой необходимости, уровень притязаний в отношении качества выполнения упражнения, опасение травмы и т. п.

II.2. УПРАВЛЕНИЕ НЕПЕРЕМЕСТИТЕЛЬНЫМИ ДЕЙСТВИЯМИ

II.2.1. Управление позой и ее медленными изменениями

Статические напряжения. Управление статическим напряжением мышц — дело не простое, особенно в тех случаях, когда требуются точность положений, большие усилия, переменные усилия, когда недопустимо дрожание. Трудность сохранения суставных углов объясняется в основном адаптивным повышением абсолютных и дифференциальных порогов проприорецепторов.

Способность тонко дифференцировать изменения взаимного расположения звеньев тела позволяет обнаруживать и выправлять искажения позы. Если при сохранении ее главная двигательная задача заключается в сохранении взаимного расположения двух-трех звеньев тела, расположение других звеньев может быть вариативным (при изменении одних суставных углов компенсаторно изменяются другие). Таким искусством спортсмен овладевает

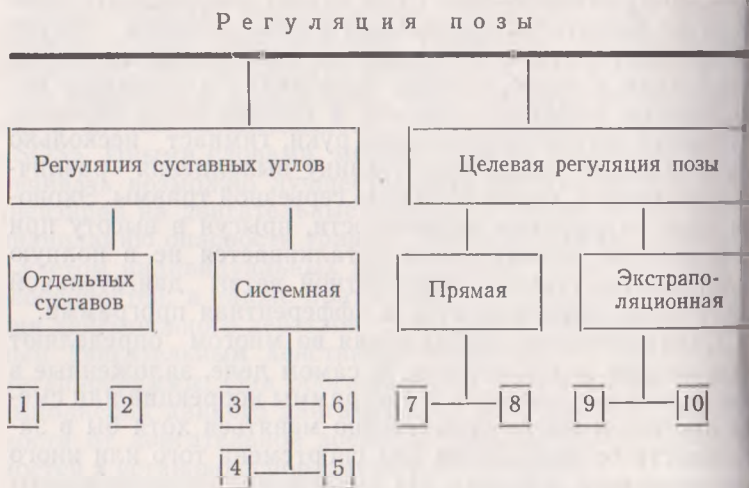


Схема 9

1 — автоматизированные тонические регуляции, 2 — осознаваемые коррекции угла по его «установочной» величине, 3 — взаимокомпенсаторные регуляции, 4 — регуляции по пространственному расположению контрольных точек и звеньев тела, 5 — регуляции по пространственной ориентации звеньев тела и взаимной ориентации его контрольных точек, 6 — регуляции по изменению нагрузки на звенья рабочих динамических целей, 7 — неосознаваемые коррекции позы, 8 — осознаваемые коррекции позы, 9 — предваряющие тонические коррекции, 10 — предваряющие коррекции позы

по мере совершенствования навыка. Трудность сохранения позы усугубляется необходимостью совершать дыхательные движения: из-за них приходится все время менять напряжение мышц, «ответственных» за позу. Другая трудность сохранения позы — утомление при ее фиксации, вызванное большими усилиями. Сохранять позу достаточно долгое время можно только при значительном функциональном резерве. На схеме Ч показана система механизмов регуляции позы.

Со статическим напряжением приходится сталкиваться,

естественно, не только при фиксации взаимного расположения всех звеньев тела, но и тогда, когда необходимо сохранять неизменным хотя бы один суставной угол. В качестве примера можно назвать оборот назад из упора в стойку на руках на перекладине. В данном упражнении угол между руками и туловищем нужно сохранять приблизительно неизменным на протяжении большей части оборота (тело за это время поворачивается вокруг поперечной оси более чем на 200°). Поэтому высоки требования к силе гимнаста: совсем не легко фиксировать этот угол, когда требуется усилие, быстро меняющееся в широком диапазоне (по величине и направлению). Достаточно сказать, что в начале и в конце движения тела с фиксированным данным углом усилие нужно направлять на то, чтобы он не уменьшился; при прохождении же тела под грифом перекладины необходимо большое усилие для преодоления момента силы тяжести туловища и ног относительно плечевой оси, а также инерционных сил, вызванных быстрым вращением тела вокруг грифа, чтобы угол не увеличивался (рис. 40). Сохранение суставных углов неизменными в условиях непрерывных изменений внешних и внутренних суставных моментов (см. I.3.1) вообще типично для спортивной гимнастики (вспомним задачи сохранения динамической осанки, см. стр. 21).

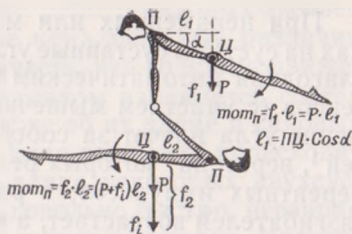


Рис. 40. Изменение величины и направления усилий для стабилизации суставных углов при изменении ориентации тела:

П — проекция общей оси плечевых суставов на плоскость рисунка; Ч — проекция ц.т. тела (без обеих рук) на плоскость рисунка; f — сила, приложенная к точке Ч; l — плечо силы f относительно оси плечевых суставов; $mom_n = f \cdot l$ — момент силы f относительно оси плечевых суставов; P — сила тяжести тела; I — сила инерции тела

При неизменных или медленно меняющихся нагрузках на суставы суставные углы сохраняются неизменными благодаря автоматическим механизмам тонических рефлексов (с участием мышечных веретен: например, уменьшение угла влечет за собой удлинение мышц-разгибателей¹, веретена² которых реагируют на это усилением афферентных импульсов; в результате напряжение мышц-разгибателей возрастает, а напряжение мышц-сгибателей падает; это вызывает увеличение угла, влекущее за собой противоположные тонические изменения). Сохранение величины суставного угла достигается за счет его поочередного увеличения и уменьшения: величина угла колеблется около среднего (должного) значения. Здесь очень наглядно выступает принцип регуляции по рассогласованию (или «по отклонению», «по ошибке»). Чем сильнее напряжены группы мышц-антагонистов, тем строже работает этот механизм. Однако мышцы быстрее утомляются, а это снижает точность регуляций.

Так осуществляется стабилизация суставного угла, если для его фиксации не нужно менять величину и направление мышечных усилий. В противном случае спортсмен должен предвидеть ход их развития,— конечно, с использованием своего предшествовавшего двигательного опыта.

Действия парастатического³ характера. Следует сразу обратить внимание на то, что в процессе таких действий почти всегда часть звеньев динамической цепи работает в статическом режиме, поэтому к ним относится все только что сказанное. В преодолевающем движении предельная сила меньше, чем в статике, а в уступающем — больше (см. I.3.4). Следовательно, парастатическое суставное движение в уступающем режиме намного легче выполнить, чем *противоположно* направленное преодолевающее (в этом случае работают одни и те же мышцы). Притом чем медленнее уступающее движение, тем труднее выполнить его при той же самой нагрузке; чем медленнее преодолевающее движение, тем легче (см. рис. 34).

¹ Одновременно сближаются концы мышц-сгибателей, их веретена расслабляются, что вызывает снижение тонуса сгибателей и повышение тонуса разгибателей, т. е. «удваивает» описываемый эффект.

² Мышечное веретено — рецепторное образование в мышце, реагирующее на изменение ее длины.

³ См. сноску на стр. 23.

Хотя парастатический режим работы силовых звеньев близок к статическому, все же немаловажные различия имеются. Прежде всего, надо учесть, что во время движения с достаточно большим размахом изменяется состав работающих мышц, не говоря уже об их длине и силовых плечах (см. I.3.1, рис. 24—26). Если движения происходят сразу в нескольких суставах, длина некоторых двухсуставных мышц может меняться довольно быстро, невзирая на малую скорость изменения суставных углов. Удлинение мышцы мало влияет на ее предельное напряжение. В случае же укорочения мышцы состояние ее может приблизиться к ретракции (такое укорочение, при котором она уже не может развить силу тяги), в связи с чем другим мышцам приходится работать за нее.

От распределения скоростей суставных движений обычно в той или иной мере зависят внешние суставные моменты (чаще всего моменты сил тяжести). Поэтому спортсмен должен так соотносить эти скорости, чтобы моменты сопротивлений относительно осей всех суставов рабочей кинематической цепи были преодолимы, соответствовали функциональным возможностям звеньев соответствующей динамической цепи. При этом, конечно, надо учитывать и текущее изменение этих возможностей в связи с зависимостью «сила — скорость» (см. I.3.4).

При уступающих движениях спортсмен может подбором скоростей суставных движений поддерживать соответствие своих силовых возможностей *силовому запросу*¹ упражнения. С другой стороны, увеличив силовые возможности, он может развивать ту же силу в заданных уступающих движениях, выполняемых с меньшей скоростью, либо в преодолевающих движениях, выполняемых с большей скоростью. Это существенно прежде всего в спортивной гимнастике и акробатике, но немалую роль играет и в других видах спорта. В частности, скорость парастатических движений борцов, когда один сопротивляется превосходящему его по силе (в данной двигательной ситуации)², а другой преодолевает это сопротивление, устанавливается соответственно с требованием выравнивания силовых возможностей (см. рис. 35).

¹ Силовой запрос двигательного действия — требования, которые оно предъявляет к силовым возможностям спортсмена.

² Превосходство может быть результатом лучшей физической подготовленности, но может быть результатом и меньшей величины моментов сопротивления или участием других мышц.

Спортсмен часто может управлять величиной момента сопротивления, уменьшая плечо действующей внешней силы, например выжимая стойку не с прямыми, а с согнутыми руками или не с прямыми, а с согнутыми ногами.

II.2.2. Управление устойчивостью тела

Стационарные равновесия. В сохранении стационарных (т. е. с неизменным местом опоры) *стабильных позыных*¹ равновесий (на схеме 10 дана классификация рав-



Схема 10. Классификация равновесий

¹ *Стабильные равновесия* характеризуются тем, что тело не обладает сколько-нибудь значительным количеством движения и кинетическим моментом, в связи с чем процесс сохранения устойчивости тела относительно стабилизирован. *Позными* называются равновесия с неизменной позой или, во всяком случае, не связанные с ее существенными изменениями (а значит, изменениями суставных углов), кроме изменения углов в базовых суставах.

посредств по характеру действий, обеспечивающих сохранение устойчивости тела) решающее значение имеют две способности: способность развивать большие восстанавливающие моменты¹ во всех направлениях (размеры поля устойчивости)² и способность дифференцировать свое положение в поле устойчивости. Потери устойчивости могут быть, во-первых, из-за собственных двигательных ошибок, выражающихся в неправильном выборе напряжения мышц, управляющих базовым суставом, или положения тела в поле устойчивости; во-вторых, из-за механических возмущающих воздействий (порыв ветра, воздействие противника и пр.). Размеры поля устойчивости при неудерживающей связи с опорой зависят от размеров твердых частей опорных поверхностей и от функциональных возможностей базовых силовых звеньев тела (от моментов силы тяги сгибателей пальцев ног, сгибателей пальцев рук и сгибателей кистей; функциональные возможности сгибателей и разгибателей стопы практически всегда избыточны). При удерживающей связи с опорой все определяется функциональными возможностями базовых силовых звеньев. Пример — стойка на руках на брусках.

Широко распространенный «геометрический» метод определения устойчивости тела³ по размерам площади опоры, высоте расположения ц. т. тела над опорой, углу устойчивости лишь в некоторых случаях может быть успешно применен, поскольку он, будучи основан на моделировании тела спортсмена (представляющего собой сложную систему подвижно сочлененных звеньев) недеформируемым монолитным телом, по большей части неверно отражает действительную картину. Для иллюстра-

¹ Восстанавливающими моментами называют моменты сил реакции опоры относительно осей соответствующих базовых суставов (голеностопных при стоянии на ногах, лучезапястных — на руках), направленные противоположно опрокидывающему моменту и при активном сохранении устойчивости развиваемые ради противодействия ему.

² Поле устойчивости можно понимать двояко: как поле восстанавливающих моментов и как пространственное поле устойчивости (см. В. Б. Коренберг «Устойчивость тела в позах равновесия и ее возрастные изменения у школьников». Дисс. М., 1971, а также гл. «Основы биомеханики гимнастических упражнений» в учебнике «Теория и методика гимнастики». М., «Просвещение», 1971).

³ См., например, Д. Д. Донской «Биомеханика с основами спортивной техники». М., ФИС, 1971.

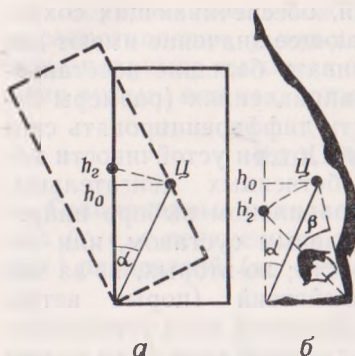


Рис. 41. Устойчивость тел при равных углах устойчивости:

h_0 — уровень ц. т. тела (Ц) в наиболее устойчивом положении; h_r и h'_r — уровень ц. т. тела во время перехода его проекции через границу площади опоры при потере телом устойчивости; α — угол устойчивости; β — угол, соответствующий дуге, описанной ц. т. тела гимнаста при его перемещении из устойчивого положения в граничное

$$\left(\alpha \approx \beta, h_r = \frac{h_0}{\cos \alpha}, h'_r < h_0 \cos \beta, h'_r < h_r \cos^2 \alpha \right).$$

ции можно сравнить схемы «а» и «б» на рис. 41. В случае «а» высота ц. т. тела при отклонении его проекции к самой границе площади опоры возрастает обратно пропорционально косинусу угла устойчивости — α ; потенциальная энергия тела возрастает, нужно затратить работу для его подъема (устойчивость тела в значительной мере определяется глубиной «потенциальной ямы», в которой оно находится в рассматриваемый момент). В случае «б», наоборот, ц. т. тела опускается при отклонении его проекции к границе площади опоры: при правильном выполнении стойки ц. т. тела находится на «потенциальном гребне» и работу нужно затрачивать для того, чтобы восстанавливать это положение после

каждого отклонения. Нетрудно привести ряд примеров, иллюстрирующих другие стороны несоответствия «геометрического» метода требованиям анализа спортивной техники (например, как быть, если связь с опорой удерживающая? Как оценить устойчивость тела в ситуации, показанной на рис. 42, а? Какой из способов постановки рук на бревно — «б» или «а» — обеспечивает лучшую устойчивость тела? Оказывается, вопреки геометрическим факторам, способ, показанный на рис. 42 в, намного эффективнее).

Ниже очень поверхностно излагаются некоторые положения функционального метода определения устойчивости тела¹, которым целесообразно пользоваться при

¹ Более подробно см. В. Б. Коренберг «Устойчивость тела в позах равновесия и ее возрастные изменения у школьников». Дисс. М., 1971, а также «Воспитание устойчивости в стойках и равновесиях с помощью стабилоскопа». В сб. «Мастерство гимнастов». М., ФИС, 1969.

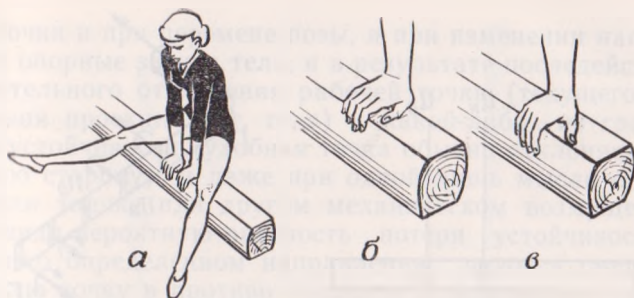


Рис. 42. Сохранение устойчивости при неплоскостной опоре: *а* — пример опоры на вертикальную плоскость; *б* — большая горизонтальная составляющая опорной поверхности, устойчивость ниже, чем в случае *в*; *в* — малая горизонтальная составляющая опорной поверхности, но устойчивость выше, чем в случае *б*, так как эффективно работает вертикальная составляющая опорной поверхности

качественном анализе техники выполнения упражнений.

Управление устойчивостью тела осуществляется, во-первых, расположением вертикальной проекции ц. т. тела в пространственном поле устойчивости (рис. 43), или, что то же, таким расположением ц. т. тела, чтобы необходимая для уравнивания тела величина восстанавливающего момента целесообразно сочеталась с размерами поля восстанавливающих моментов (рис. 44). Для наглядности на этих рисунках показано только одно сечение поля устойчивости, размеры поля относятся к возможным перемещениям тела в одной вертикальной плоскости.

С точки зрения надежности сохранения устойчивости наилучшее расположение ц. т. тела такое, когда его проекция расположена точно посередине поля (на рис. 43— Π_{II}): одинаковы возможности сопротивления падению тела в обе стороны. Наименее надежное расположение — на одной из границ поля, так как можно сопротивляться падению тела только в одну сторону. Очень часто равновесие сохраняется достаточно уверенно для того, чтобы подумать и о предотвращении быстрого утомления, и об удобстве выполнения других частных действий в данном упражнении. Положение, при котором такое удобство сочетается с удовлетворительной, по мнению спортсмена, надежностью сохранения устойчивости, можно назвать «удобной точкой». В обычных условиях именно в ней расположена проекция ц. т. тела. По мере повышения ответ-

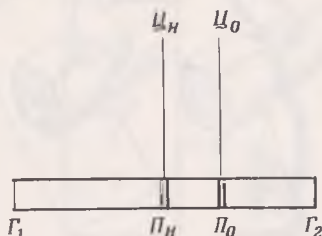


Рис. 43. Сагиттальное сечение пространственного поля устойчивости:

Ц_0 — расположение ц.т. тела при состоянии пассивной устойчивости (когда тело сохраняет устойчивость без специального напряжения мышц); П_0 — вертикальная проекция Ц_0 ; Ц_H — расположение ц.т. тела в положении наибольшей устойчивости (наиболее надежное положение, устойчивость одинакова в обе стороны); П_H — вертикальная проекция Ц_H ; Γ_1 и Γ_2 — границы поля устойчивости, переход ц.т. тела за вертикали над ними означает потерю устойчивости

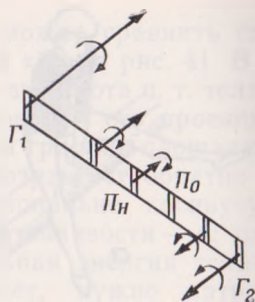


Рис. 44. Сагиттальный разрез поля восстанавливающих моментов, соответствующего полю устойчивости на рис. 43.

Индексами помечены соответствующие точки поля. Векторами и круговыми стрелками обозначены восстанавливающие моменты. В точке П_0 восстанавливающий момент равен нулю

ственности за сохранение устойчивости удобная точка приближается к надежной, т. е. перемещается к середине поля. Такая же тенденция проявляется и при повышении трудности сохранения устойчивости (то ли более сложно равновесие, то ли усложнены условия: закрыты глаза, ограничена опора, ожидается неопределенная помета и т. п.).

Во-вторых, управление устойчивостью осуществляется своевременным созданием адекватного по величине и направлению восстанавливающего момента, т. е. соответствующим напряжением мышц.

Следует отметить, что удобная точка не что-то стабильное, неизменное. Помимо уже описанных случаев смещения удобной точки, наблюдается ее периодическое скачкообразное спонтанное смещение. Оно, по-видимому, препятствует адаптации рецепторов, контролирующих состояние базового силового звена и соответствующий суставной угол, тем самым предотвращая повышение дифференциальных порогов. Меняется положение удоб-

ной точки и при перемене позы, и при изменении нагрузки на опорные звенья тела, и в результате последствия значительного отклонения рабочей точки (текущего положения проекции ц. т. тела) к какой-либо из границ поля устойчивости (удобная точка обычно отклоняется в другую сторону), и даже при одной лишь мысли о возможном толчке или другом механическом возмущении. Предвидя вероятную опасность потери устойчивости в каком-то определенном направлении, человек смещает удобную точку в противоположном направлении.

Из закономерностей сохранения устойчивости в стационарных стабильных (позных и переменных) равновесиях необходимо упомянуть еще об одной, имеющей очень важное значение для всех видов спортивной борьбы. Речь идет о четко выраженной тенденции к смещению удобной точки в результате последствия механического возмущения (толчка, нажима, рывка, тяги)¹. Если противник делает попытку толкнуть или опрокинуть борца, например, назад, последний, отразив этот натиск, подсознательно смещает ц. т. тела вперед; если противник потянул или рванул борца «на себя», тот рефлекторно смещает удобную точку назад.

Необходимо учесть, что эти реакции вызваны не только полуосознаваемым стремлением обеспечить устойчивость тела на случай повторного аналогичного действия противника, но и (в большой мере) автоматическими тоническими перестройками: остаточное повышение тонуса мышц, своим напряжением предотвративших потерю устойчивости, пониженный тонус («остаточное расслабление») их антагонистов приводят к «перекомпенсации» при возвращении ц. т. тела в исходное положение, после чего проявляется пластичность механизма стабилизации позы. Следовательно, чтобы более точно восстановить исходное положение, нужно сознательно *как бы не полностью (субъективно, по кинестезическим ощущениям, а не в действительности)* вернуть «на место» смещенный действиями противника ц. т. тела. По мере проведения направленной тренировки вырабатывается навык внесения необходимой коррекции в этот процесс.

Стационарные стабильные *переменные* равновесия отличаются от позных тем, что движения тела в общем слу-

¹ А. П. Купцов, В. Б. Коренберг. Об устойчивости позы. «Теор. и практ. физ. культуры», 1967, № 12.



Рис. 45. Возникновение горизонтальной составляющей реакции опоры и смещения ц.т. тела в переменных равновесиях (мах ногой вперед)



Рис. 46. Изменение суставных углов (в голеностопном и тазобедренном суставах) при перемене позы

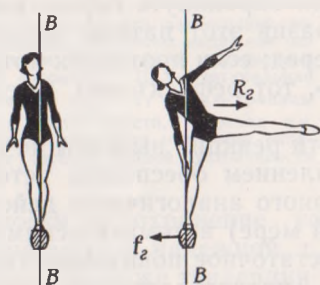


Рис. 47. Восстановление устойчивости тела движениями, вызывающими появление горизонтальной составляющей реакции опоры (появление реактивного восстанавливающего момента ради упрощения схемы не показано):

линия BB — вертикаль, R_2 — горизонтальная составляющая реакции опоры, f_2 — горизонтальная составляющая воздействия на опору



Рис. 48. Восстановление устойчивости тела движениями, вызывающими появление реактивного восстанавливающего момента (благоприятное изменение реакции опоры ради упрощения схемы не показано)

чае влекут за собой появление горизонтальных составляющих реакции опоры (рис. 45), компенсаторное изменение пространственной ориентации ряда звеньев тела, а также нередко (даже без смещения ц. т. тела) изменение угла в базовых суставах (рис. 46), меняющее настройку

механизма автоматической стабилизации этого угла (см. стр. 110). Такое воздействие движений на устойчивость тела в переменных равновесиях может затруднить ее сохранение, но может и помочь сохранить ее и даже восстановить в случае потери (рис. 47).

Для стационарных *останавливающих* равновесий характерно наличие у тела в момент начала процесса сохранения равновесия запаса количества движения и кинетического момента (момента количества движения), которые необходимо свести к нулю. Это иногда очень непростая задача, например, приземление после сложных (с быстрым одноосным или с двухосным вращением) сококов в гимнастике, остановка метателя в легкой атлетике, остановка после переворота в стойку на руках на подъях или кувырка назад в стойку на руках на брусьях, сальто на бревне, которая во многих случаях решается прежде всего такой постановкой рук или ног на опору, при которой моменты сил тяжести и реакции опоры, а также горизонтальная составляющая реакции опоры направлены противоположно скорости вращательного и поступательного движений тела. Однако это далеко не общий «рецепт» — во многих случаях ведь нет перерыва в опоре (махом стойка на руках на брусьях, например) либо место приземления строго определено или ограничено (толкание ядра — остановка после финального усилия, сальто назад на бревне из стойки продольно). Тут приходится прибегать к движениям, создающим противодействующие вращающий момент и горизонтальную составляющую реакции опоры (рис. 48). Этот прием используется как вспомогательный и в тех случаях, когда можно выбрать место опоры.

Нестационарные¹ равновесия. Они бывают с подвижной и неподвижной опорой, позными или переменными. При неподвижной опоре: а) позные — повороты в стойке на руках, бег на коньках с руками за спиной, «либела» в фигурном катании на коньках, фиксация веса штангистом с шагами по помосту; б) переменные — серия прыжков на бревне, фляк на бревне, скрещения на коне, танцевальные па с движениями руками и туловищем в фигурном катании на коньках, действия хоккеистов. Сохранение устойчивости достигается главным образом переменной места опоры и в значительно меньшей степени —

¹ С переменной места опоры.

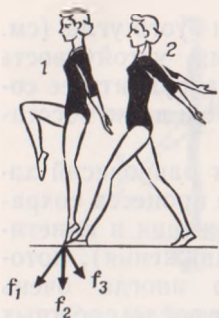


Рис. 49. Произвольно определяемые варианты направления давления на опору при отталкивании

регулированием по типу управления устойчивостью в стационарных равновесиях. При этом должны учитываться как количество движения и кинетический момент тела, так и желаемое его дальнейшее перемещение, поступательное и вращательное.

Большое значение имеет направление активного воздействия на опору. На рис. 49 (положение 1) показано, что гимнастка может по-разному воздействовать на бревно при отталкивании для прыжка: вариант f_1 замедляет перемещение тела вперед, вызывая увеличение скорости его вращения вперед (либо уменьшение скорости вращения назад, если оно имело место); вариант f_2 не меняет ни горизонтальной скорости продвижения тела, ни скорости его вращения, так как сила реакции опоры направлена точно к ц. т. тела вертикально вверх; вариант f_3 ускоряет перемещение тела вперед и либо замедляет вращение вперед, либо, если его не было, ускоряет вращение назад. Но такое описание справедливо только для изображенного момента, когда ц. т. тела находится точно над местом опоры. Например, для положения 2 вариант f_1 не создает вращающего момента, а вариант f_2 создает момент, вращающий тело назад.

Сохранение устойчивости тела при нестационарных равновесиях с *подвижной опорой* сопряжено с дополнительными трудностями: 1) даже при таком движении опоры, которое можно с известным приближением считать равномерным, имеются не зависящие от спортсмена колебания силы реакции опоры, что в общем случае связано с приложением к телу вращающих моментов, которые невозможно предусмотреть; 2) если движение опоры неравномерно, то даже при медленном плавном изменении его скорости по достаточно простому и известному спортсмену закону дополнительные трудности связаны с невозможностью точно экстраполировать на «шаг» вперед динамическую ситуацию и тем более ответить совершенно адекватным изменением мышечных напряжений; 3) если движение опоры непредсказуемо, устойчивость

тела все время неожиданным образом нарушается, и задача ее сохранения может быть решена только созданием большого функционального резерва устойчивости.

II.2.3. Перемена места взаимодействий

Здесь пойдет речь о перемене мест как опорных взаимодействий, так и взаимодействий с активными или перемещаемыми телами. Причем во втором случае перемена мест может осуществляться либо по воле самого спортсмена, либо независимо от его воли.

Перемена мест *опорных взаимодействий* в общем случае сопряжена с изменением не только позы, но и величины и направления силы реакции опоры, а также (что обычно важнее всего), ее моментов относительно центральных осей тела.

Когда существенно меняется направление силы взаимодействия с опорой, всегда, даже при сохранении той же позы, значительно меняется напряжение, а чаще всего и состав работающих мышечных групп, что уже само по себе ведет к иным усилиям. Это во-первых. Во-вторых же, при перемене места взаимодействия с опорой обычно другой становится и поза. Следовательно, одна из главных задач — быстрая и точная перестройка системы мышечных напряжений.

Совершенно очевидно, что осуществить такую перестройку легче, если иметь в памяти *готовую* двигательную программу, реализуемую после перемены места взаимодействия. Такая программа должна включать в себя и часть, обеспечивающую *переходный период*: от момента нового контакта с опорой до момента установления желаемого режима стабильного взаимодействия с ней (программу амортизации контакта, уточнения величины и направления усилия и т. д.). Эта двигательная программа должна быть своевременно извлечена из памяти, конкретизирована и с необходимым упреждением (учитывая инерционность процессов напряжения и расслабления мышц) «запущена». В результате изменения величины и направления опорных взаимодействий изменяются скорость и ускорение тела спортсмена (статика — частный случай, когда скорость и ускорение равны нулю). Поэтому, если нужно сохранить характер движения тела неизменным, величина и направление воздействия на опору

(а значит, и опорной реакцией) после перемены его места должны остаться прежними.

Обычно самой трудной проблемой является управление вращающим моментом силы реакции опоры. Ведь в связи с переменной места опоры меняется плечо ее реакции относительно ц. т. тела. Конечно, изменение вращающего момента часто является как раз целью перемены места взаимодействия с опорой (сохранение устойчивости тела дополнительной опорой, переменной ее места, смещением центра опоры, перераспределением величин давления на опору между ее различными участками — если спортсмен имеет несколько мест опоры).

Есть три основных способа избежать существенного изменения вращающего момента: 1) перемещение ц. т. тела, строго соответствующее перемене места опоры; 2) перераспределение силы давления на опору различными участками тела; 3) кратковременное изменение одновременно величины и направления воздействия на опору.

Перемена места *взаимодействия с другими телами* (помимо опоры) связана как с изменением воздействия на них, так и с изменением их действия на тело спортсмена, даже если другое тело пассивно (действует его сила инерции, а также вес и соответственно моменты этих сил). Хоккеист, ведущий шайбу, воздействует на нее клюшкой с разных сторон (в зависимости от того, куда он должен ее в данный момент направить). При этом ему приходится изменять напряжение ряда мышечных групп. Фигурист, державший партнершу за руку, кладя руку ей на талию, получает возможность по-иному помочь ей выполнить ту или иную фигуру. В свою очередь, и он испытывает совсем другое инерционное противодействие. В вольной борьбе или в борьбе самбо проход к ногам противника сразу дает возможность поднять его вверх, опрокинуть назад, если тот не сумеет, противодействуя, помешать этому. Однако атакующий испытывает равное по величине и противоположное по направлению воздействие (согласно 3-му закону механики), отчего в случае умелого сопротивления противника может и сам упасть. В парной акробатике нижний, меняя место взаимодействия с верхним (например, при переходе его от стойки на голове к стойке на руках), заставляет его переменить положение тела, чтобы сохранять устойчивость в новом равновесии. Но и сам он должен принять меры для того, чтобы его

устойчивость не была нарушена новым положением верхнего.

Перемена места взаимодействия с активным телом (т. е. с противником либо партнером) может происходить либо по воле спортсмена, с позиций которого рассматривается ситуация, либо помимо его воли, чаще всего по воле противника. Активность противника и даже партнера (ее ведь не всегда удается точно учесть, угадать и правильно отразить своими действиями) создает дополнительные трудности при перемене места взаимодействий. Активность противника как раз и имеет целью создать такие трудности. Поэтому при взаимодействии с ним и даже с партнером надо иметь резерв двигательных возможностей, чтобы быть в состоянии решить неожиданно возникшую дополнительную двигательную задачу. Именно этим в известной мере объясняется требование повышенной устойчивости в борьбе, силовой акробатике, боксе.

II.2.4. Точностные и выразительные действия

Точностные действия. Этот тип действий объединяет несколько различных с точки зрения управления групп действий, решающих задачи: 1) безошибочного приведения рабочей точки кинематической цепи (или рабочей точки удерживаемого управляемого предмета, рапиры например) к заданной точке другого тела, т. е. *пространственной кинематической* координации движений; 2) безошибочного сопоставления движений по времени, т. е. их *временной кинематической* координации; 3) тонкой дозировки усилий, развиваемых в рабочей точке (точках) тела, т. е. *пространственной динамической* координации напряжений мышц; 4) безошибочного сопоставления мышечных напряжений по времени, т. е. их *временной динамической* координации; 5) совмещения решений различных из перечисленных задач (*пространственно-временной кинематической, динамической или кинемато-динамической* координации движений и мышечных напряжений); 6) сообщения снаряду таких (по величине и направлению) поступательной скорости и вращения, чтобы был обеспечен его свободный полет с попаданием в заданную точку пространства; нередко при этом ставится и дополнительная задача — обеспечить определенную траекторию полета с учетом ее изменений в результате

намеченного «попутного» взаимодействия с другими телами.

Управление кинематикой точностных движений опирается чаще всего и главным образом на проприорецептивную (кинестезическую) и зрительную афферентацию. Управление динамикой — решающим образом на кинестезическую афферентацию (хотя немалую роль может играть и кожная рецепция).

Точностные действия требуют особо тонких дифференцировок и *очень стабильной реализации* эффекторной части двигательной программы. Кроме того, необходимо мгновенно и точно реагировать даже на мельчайшие отклонения движений от заданных программой. Для простоты управления точностными движениями стараются упростить их форму и обходиться по возможности мало изменяющимися во времени ускорениями, иначе говоря, выполнять движения равномерно ускоренно, плавно наращивать скорость.

К точностным действиям следует относить также жонглирование мячом и балансирование партнером.

Жонглирование в футболе — неоднократный подбив мяча ногой, телом, головой (с промежуточными ударами мяча о землю или без них); в баскетболе — так называемый дриблинг. Каждый подбив или толчок мяча надо программировать и выполнять с учетом как его предшествовавшего полета, так и удобства точного выполнения следующего действия. Допустив ошибку, необходимо немедленно скорректировать или даже полностью перестроить программу следующего подбива (толчка).

Акробат или фигурист балансирует партнером главным образом путем горизонтального перемещения места его опоры (но иногда значительную роль могут играть и динамические воздействия) с расчетом в конечном итоге свести к минимуму опрокидывающий момент и облегчить верхнему тонкое управление устойчивостью. Решающее значение при этом имеют следующие характеристики балансируемого тела:

1) *радиус инерции*¹ (относительно точки опоры), определяющий угловую скорость отклонений тела от равновесного положения под действием опрокидывающего

¹ Радиус инерции — величина, равная $\sqrt{\frac{I}{m}}$ (I — момент инерции, m — масса тела).

момента, а следовательно, и время, имеющееся в распоряжении нижнего для управляющих действий;

2) *вертикальный размер*, от которого чаще всего зависит линейное перемещение контрольной точки, дающее основную зрительную информацию для балансирования;

3) *механическая жесткость* (сопротивление изгибаниям, мешающим балансировать);

4) *деформируемость тканей в месте опоры*, влияющая на точность динамических воздействий балансирующего;

5) *вес* (при большом напряжении мышц нижнего снижается точность его управляющих действий, может возникнуть сильный тремор мышц);

6) *характер активной составляющей опорной динамики и ее адекватность* (с учетом двигательной ситуации) *управляющим действиям нижнего*.

Выразительные действия. Этот тип частных действий вряд ли имеет смысл подвергать биомеханическому анализу, поскольку эстетические критерии пока находятся вне биомеханики. Следует заметить лишь, что выразительные движения и действия должны гармонично сочетаться с действиями, решающими спортивно-техническую часть задачи. Это значит: а) первые не должны препятствовать вторым; б) первые должны определенным образом соотноситься со вторыми не только по общему рисунку движений, но и в деталях, иначе пострадает эстетическая сторона действия, потеряется цельность картины; в) выполнение первых часто осложняет выполнение вторых и как следствие — всего двигательного действия в целом. Имеются в виду трудности, связанные и с распределением внимания и с чисто координационным усложнением решения двигательной задачи (наклоны и повороты головы, прогибание тела, асимметрия движений и др.).

II.2.5. Максимальные динамические действия

Максимальные воздействия на тяжелые перемещаемые тела. Особенности управления этим типом частных действий связаны прежде всего с необходимостью очень быстро и сильно напрягать большие мышечные массивы и с предельным или околопредельным усилием выполнять довольно длительные или большие по размаху и нередко достаточно быстрые движения, что почти всегда сопровождается «включением» по ходу действия новых

групп мышц и «выключением» ранее работавших. И хотя это происходит без участия сознания (спортсмен лишь задает себе рисунок движений), такого рода координация требует определенных, заранее созданных условий.

1. Необходим предварительный повышенный тонус мышц, выполняющих движение. Тонизация этих мышц — процесс, который протекает самостоятельно, отдельно от их фазного напряжения. Недостаточный тонус может привести к отставанию фазного напряжения и дискоординации движений.

2. Повышение тонуса мышц, затрудняющих активные движения, представляет собой помеху эффективному выполнению действия, в связи с чем он должен быть невысоким. Если же по ходу движений данные мышцы должны стать движущими, это превращение необходимо предварить быстрым повышением их тонуса.

3. Нужно научиться быстро расслаблять предельно напряженные мышцы; в противном случае они, став в соответствии с программой движений «пассивными тормозами», своим напряжением будут мешать.

4. Работа мышц, непосредственно выполняющих рассматриваемое действие, должна быть поддержана необходимым по интенсивности напряжением большинства мышц тела, обеспечивающих тем самым механическую опору, как бы фундамент для проведения основного действия.

Второе, с чем тесно связан рассматриваемый тип частных действий, — сложность сохранения устойчивости тела или его запланированного перемещения. Максимальные силовые взаимодействия даже с пассивными тяжелыми телами всегда сопряжены с появлением непредсказуемых или неоднозначно предсказуемых вращающих моментов, а также с большими или меньшими ошибками в их компенсации (путем коррекции структур рассматриваемого действия, взаимодействия с опорой, другого выполняемого частного действия).

Баллистические действия. К особенностям управления данным типом частных действий следует отнести трудность координации движений, связанных с мышечным напряжением «взрывного» характера. Эти движения протекают за очень короткое время и потому почти не поддаются осознанной коррекции. Более приемлемы автоматизированные коррекции, выработка, настройка и координация которых достигаются специальной трени-

ровкой, так что управление рассматриваемыми действиями является как бы предваряющим, причем далеко отставленным во времени. Другая форма такого управления — управление исходными позой, ориентацией тела, тонусом мышц, афферентной настройкой, возбудимостью нервно-мышечного аппарата.

Ввиду кратковременности баллистических действий такая подготовка наряду с закрепленными авторегуляциями в основном определяет двигательный результат.

Одним из сложных моментов при выполнении баллистических действий нередко является их завершение, связанное с необходимостью за короткий отрезок времени не только расслабить предельно напряженные мышцы, своей тягой вызвавшие данные баллистические движения, но и остановить эти движения, свести к нулю кинетический момент и количество движения быстро перемещающихся звеньев тела. В противном случае грозят суставные травмы. Отсюда характерная для баллистических движений активизация мышц-антагонистов *еще до завершения* рабочей части действия: это *охранительное* напряжение снимает перегрузки с костных ограничителей и связок угрожаемых суставов.

Поскольку основным критерием эффективности баллистических действий часто служит достигнутая скорость рабочей точки реализующей его биомеханической цепи, управление ими должно обеспечить: а) возможно больший путь разгона; б) максимальное напряжение на всем пути разгона мышц, вызывающих движение; в) быстрое достижение ими максимального напряжения; г) пониженный тонус их антагонистов. Достигается это следующими приемами.

1. Выполнение активного замаха. Смысл его в том, что в результате рабочие звенья тела оказываются в положении, обеспечивающем максимальный путь разгона, а мышцы, тяга которых вызывает баллистическое движение, будут предварительно растянуты.

2. Использование инерционности звеньев тела (при бросках и метаниях также инерционности перемещаемого предмета) для расслабления мышц, обеспечивающих замах, которым предстоит стать антагонистами мышц, определяющих баллистическое движение.

3. Предваряющее напряжение мышц: мышцы, определяющие баллистическое движение, «включаются» еще во время активного замаха и к его завершению уже пре-

дельно напряжены (напряжение это может быть очень высоким, поскольку формируется в процессе уступающего движения — см. 1.3.4.), что позволяет начинать разгон с максимально возможным ускорением.

4. «Обгон» дальними от рабочей точки звеньями ближних к ней звеньев (отстающих в связи с их инерционностью или инерционностью снаряда, если речь идет о метании). С помощью обгона достигается высокая степень натяжения мышц и связок (положение «натянутого лука» при метании копья или гранаты), обеспечивающая предельное напряжение их и потому максимальное ускорение с самого начала разгона.

Одновременное однонаправленное движение последовательно соединенных звеньев кинематической цепи позволяет при *сравнительно небольших скоростях суставных движений* достигать благодаря их суммированию *высокой скорости рабочей точки*. Малые скорости суставных движений делают возможным развитие сравнительно больших мышечных напряжений. Например, чтобы движение метаемой руки происходило с большей скоростью, спортсмен производит в то же самое время сгибательное движение туловищем, т. е. перемещает вперед всю метаемую руку. Таким образом, движение туловища логично назвать *несущим*, а движение руки — *несомым*. Кроме того, спортсмен отталкивается впереди стоящей ногой вверх — это движение «несет» на себе движение туловища, а через него — движение руки. В результате кисть метаемой руки приобретает значительную составляющую скорости, направленную вверх.

Теперь можно резюмировать: несущие движения, во-первых, могут менять траекторию рабочей точки, в том числе и так, как невозможно было бы изменить ее без них в связи с анатомическими ограничениями; во-вторых, позволяют значительно увеличить «потолок» скорости рабочей точки кинематической цепи; в-третьих, дают возможность поднять величину развиваемых суставных моментов, т. е. повысить эффективность работы звеньев динамической цепи, поскольку необходимая скорость рабочей точки достигается при меньшей скорости суставных движений и в соответствии с зависимостью «сила — скорость» мышцами может быть развито большее предельное напряжение.

Несущие движения имеют место при выполнении всех баллистических движений, где требуется до предела ис-

пользовать силовые и скоростные возможности двигательного аппарата спортсмена. Но баллистическими движениями отнюдь не ограничивается применение несущих движений. Они используются и в максимальных силовых взаимодействиях с другими телами, и в отталкиваниях ногами или руками, и в шаговых действиях. Несущие движения наряду с маховыми движениями — один из универсальных приемов повышения эффективности различных частных действий.

II.2.6. Амортизация взаимодействия

Это одна из наиболее распространенных двигательных задач не только в спорте, но и в обычной двигательной деятельности человека.

Цель амортизации — максимально уменьшить высоту «пика» силы взаимодействия. Достигается это увеличением продолжительности взаимодействия и его «сглаживанием» (выравниванием значения силы на всем его протяжении). Следовательно, нужно так построить систему движений, обеспечивающих амортизацию, чтобы *ускорение* (оно отрицательно, т. е. это «замедление») *рабочей точки тела спортсмена* (точнее, той биомеханической цепи, которая обеспечивает амортизацию) или ц. т. тела было по возможности постоянным: при инерционном движении тело действует на другое (уменьшающее его скорость) с силой, пропорциональной величине сообщаемого ускорения (в данном случае «замедления»). Чтобы остановить тело, нужно сообщить ему импульс силы, равный по величине количеству движения тела и направленный противоположно его скорости. Но один и тот же импульс может быть результатом либо кратковременного действия большой силы, либо действия во много раз меньшей силы, но зато в течение во столько же раз большего времени. Амортизация — это способ уменьшить силу воздействия на другое тело за счет увеличения времени действия¹.

Амортизация при остановке мяча или шайбы позволяет избежать их отскока; при ловле партнера в силовой акробатике — перегрузки опорно-двигательного аппарата

¹ Можно говорить и об уменьшении силы за счет увеличения амортизационного пути. В этом случае работа тормозящей силы уменьшает кинетическую энергию останавливаемого тела.

та как верхнего, так и нижнего; при активном (в особенности носящем «взрывной» характер) силовом воздействии противника в борьбе — потери устойчивости тела. Во всех этих случаях спортсмен должен заранее предвидеть или в первые же мгновения воздействия определить его величину и направление, чтобы выбрать величину, направление, скорость и путь амортизационного движения рабочей точки своего тела, через которую осуществляется воздействие на останавливаемое тело. Так как сила взаимодействия с останавливаемым телом обычно нецентральна (линия ее действия не проходит через ц. т. тела), возникает вращающий (чаще всего опрокидывающий) момент, так что следует позаботиться о сохранении устойчивости тела. Если предмет (мяч, например) летит быстро, амортизационное движение также поначалу должно быть быстрым. Поэтому в нем обычно участвует одновременно несколько звеньев кинематической цепи.

Одна из главных трудностей амортизации — обеспечение нужного исходного напряжения мышц, определяющих ее своей работой. Например, футболист, останавливающий быстро летящий мяч, должен точно рассчитать и реализовать тонус мышц ноги. Это дается опытом именно данного или очень сходного действия. Даже небольшая ошибка в установке начального напряжения мышц чувствительно скажется на результате действия. Следует заметить, что амортизация при остановке других тел часто непосредственно предшествует последующему их ускоренному перемещению, что заставляет так осуществлять амортизацию, чтобы активное действие можно было выполнить как можно лучше, т. е. амортизация должна быть одновременно подготовкой к броску, толчку, удару, рывку: она должна заканчиваться в удобном (в качестве исходного) положении для последующего действия, поза должна быть как можно более подходящей для его начала.

И все же наиболее универсальное применение амортизация находит при приземлениях. С ее помощью решается несколько принципиально различных задач:

1. Предохранение опорно-двигательного аппарата от повреждений. Достигается это, во-первых, распределением импульса силы реакции опоры во времени, что приводит к значительному уменьшению величины «пики» силы взаимодействия; во-вторых, таким построением дей-

ствия, чтобы основную нагрузку могли принять на себя более прочные звенья опорно-двигательного аппарата; в-третьих, такой организацией системы движений, чтобы можно было избежать невыгодного направления действия основных внешних и внутренних сил (прочность и силовые возможности динамических цепей зависят от места и направления приложения силы), а также больших суставных моментов в промежуточных звеньях динамической цепи (это регулируется скоростью уступающих суставных движений и позой).

2. Сохранение устойчивости тела (см. II.2.2).

3. Подготовка к выполнению последующего активно-го действия (например, отталкивания). Размах амортизационных движений «подгоняется» под требование его оптимизации. Это отчетливо проявляется при беге, при слитной серии прыжков или фляков (гимнастика). Так, в беге на длинные дистанции амортизация приземлений на каждую ногу осуществляется с большим размахом уступающих движений, чем в спринте: спортсмен располагает большим временем для амортизации и отталкивания (разделение этих фаз в спринте весьма условно, поскольку во время амортизации бегун производит энергичное разгибание бедра, т. е., по сути дела, отталкивается вперед).

При приземлении на руки с небольшой высоты амортизация осуществляется главным образом уступающим движением пояса верхних конечностей. Если высота значительная, во избежание травмы приходится дополнительно сгибать руки. Кроме того, спортсмен сгибается в тазобедренных, а то и коленных суставах, что помогает смягчить приземление. Часто руками производится лишь частичная амортизация, после чего следует опора другой частью тела. Один из приемов амортизации приземления — перекат (такой приход на опору, что тело катится по ней с одновременным опусканием ц. т., благодаря чему импульс силы реакции опоры распределяется во времени).

II.3.1. Отталкивания и рывки¹

Отталкивание ногами вверх. Это действие — одно из переместительных частных действий, имеющих основной целью перемещение всего тела в пространстве. Отталкивание двумя ногами обычно ациклическое действие, но в некоторых случаях может быть и циклическим.

В спорте прыжок кверху, как правило, должен быть максимально высоким, поэтому главная задача спортсмена в этом частном действии — оттолкнуться как можно сильнее, сообщив тем самым телу к моменту прекращения контакта с опорой наибольшую вертикальную составляющую скорости (скорости «вылета»). Высота подъема ц. т. тела (превышение его уровня в верхней точке траектории над исходным) пропорциональна квадрату вертикальной составляющей скорости вылета:

$$H = \frac{v_{\text{в}}^2}{2g}.$$

Спортсмен должен обеспечить максимальную

величину суммы импульсов вертикальной составляющей силы реакции опоры и силы тяжести. Для этого нужно, чтобы первая как можно больше превосходила вторую и действовала как можно дольше (рис. 50). Следовательно, надо оптимизировать эти два фактора. Максимальной силы отталкивания можно добиться, если начать его лишь чуть-чуть согнутыми ногами. Но при этом время воздействия на опору очень мало, и импульс окажется небольшим. Время отталкивания будет велико, если спортсмен не спеша, «вполсилы» разогнет ноги. Но тогда воздействие на опору и соответственно сила реакции опоры окажутся малы, импульс реакции опоры лишь незначительно превысит по модулю импульс силы тяжести тела — суммарный импульс будет незначительным. Максимально высокий прыжок всегда, в любом случае требует предельного напряжения мышц — это бесспорно.

Иначе обстоит дело с размахом суставных движений, косвенно определяющих время отталкивания. Здесь большое значение приобретает плечо момента силы тяги мышц, в связи с чем одной и той же величине силы воздействия на опору может соответствовать различный суставной момент. Поэтому, стремясь прыгнуть как можно

¹ См. стр. 27.

выше, спортсмены приседают не слишком глубоко, строго в меру своих силовых возможностей, хотя глубокое приседание позволило бы увеличить путь разгона тела (и его продолжительность даже при максимальном напряжении работающих мышц). В самом деле, в глубоком приседе момент силы реакции опоры относительно общей оси тазобедренных суставов и момент силы тяжести относительно поперечных осей коленных суставов намного больше, чем в неглубоком приседе (при тех же силе тяжести и реакции опоры): плечи соответствующих сил в первом случае больше. И так как основное значение имеет превышение силы реакции опоры над силой тяжести тела, более глубокое приседание оказывается целесообразным для более сильного физически (на килограмм веса тела) спортсмена. Нельзя забывать, что по мере увеличения скорости суставного движения предельная сила, развиваемая мышцами, вызывающими его, уменьшается. Вследствие этого начинать отталкивание из слишком глубокого (для данного спортсмена) приседа невыгодно. Действительно, в начале разгона вертикальное ускорение невелико из-за незначительного превышения реакции опоры (по сравнению с силой тяжести тела). В дальнейшем, когда плечо силы тяжести по мере выпрямления ног уменьшается и потому превышение момента силы тяги мышц над моментом силы тяжести должно бы возрасти, из-за большой скорости суставных движений невозможно добиться высокого напряжения мышц (см. I.3.4). Поэтому превышение силы реакции опоры над силой тяжести, а значит, и ускорение тела опять-таки относительно невелики. Оттого

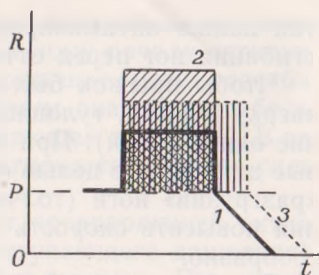


Рис. 50. Аппроксимированный (упрощающе схематизированный) график вертикальной составляющей реакции опоры при отталкивании или рывке.

Приращение вертикальной составляющей количества движения тела равно заштрихованной части площади под соответствующей кривой (увеличение вертикальной составляющей скорости тела пропорционально этой величине; высота подъема тела пропорциональна квадрату вертикальной составляющей его скорости). Сравнение кривых показывает, что увеличение силы в полтора раза при той же продолжительности ее действия (кривая 2 в сравнении с кривой 1) приводит к увеличению приращения вертикальной составляющей скорости в два раза. Тот же результат будет при увеличении силы в 1,25 раза и продолжительности ее действия в 1,33 раза (кривая 3)

так важно оптимизировать глубину предварительного сгибания ног перед отталкиванием.

Чтобы прыжок был выше, спортсмен выполняет мах сверху руками, туловищем, ногой (если это отталкивание одной ногой). При этом специально тормозит маховые движения с целью облегчить отталкивание, частично «разгрузив» ноги (толчковую ногу) и тем самым позволяя повысить скорость движений отталкивания, нецелесообразно.

Во-первых, *выгодно посильнее «загружать» ноги*: это, невзирая на предельное напряжение мышц, *замедляет* движения в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах. В результате, как известно (см. I.3.4), возрастает предельная сила движений, а значит, и сила реакции опоры. Кроме того, больше оказывается время отталкивания. Следовательно, импульс силы реакции опоры (упрощенно $I=f \cdot t$ — см. I.2.1) возрастает по обоим компонентам: больше f и больше t . Эта «добавка» идет на разгон маховых звеньев тела, на увеличение вертикальных составляющих скоростей их ц. т., а следовательно, и вертикальной составляющей скорости общего ц. т. тела.

Во-вторых, перераспределение (в сторону выравнивания) скоростей всех звеньев тела совершенно не нуждается в специальных действиях (если только этого не требуют специфические особенности техники упражнения, скажем перехода через планку), оно само собой происходит в фазе полета. Так уж лучше отложить его на время после окончания толчка, который в этом случае можно будет выполнить более эффективно.

Таким образом, эффект маховых движений в конечном счете состоит в том, что они опосредованно приводят к повышению интенсивности воздействия на опору, *форсируют опорные взаимодействия*.

Рассматривая прыжки вверх, стоит уделить внимание и другой задаче — использованию маховых движений для управления величиной сообщаемого телу момента импульса, а значит, кинетического момента. И здесь суть дела в передаче момента импульса через биодинамическую цепь на опорную ногу (ноги), отчего не только увеличивается сила реакции опоры, но и меняется ее направление, а следовательно, и плечо относительно центральной (проходящей через ц. т. тела) оси тела. Соответственно меняется сообщаемый телу момент импульса.

Прыгнуть можно выше, если предварительное присе-

дание без паузы, слитно переходит в отталкивание: в этом случае, во-первых, можно уже к самому началу отталкивания довести до максимума напряжение мышц-разгибателей ног; во-вторых, этот максимум оказывается больше, поскольку достигается в уступающем движении. В результате такой *предваряющей активности* импульс силы реакции опоры возрастает.

Еще ярче проявляется эффект предваряющей активности в тех случаях (во время уступающего движения), когда прыжок вверх следует после наскока. Его можно выполнять с одной ноги на две или с рук на ноги (курбет). Он не должен быть слишком высоким, чтобы не перегрузить ноги: дело в том, что значительное сгибание ног ликвидирует преимущество, даваемое наскоком, так что гасить скорость тела приходится на очень коротком амортизационном пути, и оттого напряжение мышц ног достигает очень большой величины. В связи с тем что мышцы обладают свойством упругости, это напряжение сохраняется и во время начальной части последующего преодолевающего движения отталкивания.

Прыжки вверх как циклическое упражнение применяются нечасто: в фигурном катании на коньках, прыжках на батуте, иногда в акробатических прыжках и в спортивной и художественной гимнастике. Во всех перечисленных случаях, кроме фигурного катания и прыжков на батуте, прыжки выполняются по типу прыжков с наскока, в которых главную роль играет отталкивание стопами.

В прыжках на батуте используется упругость снаряда и высокая эластичность сетки. Эти качества позволяют: во-первых, аккумулировать энергию нескольких предыдущих прыжков для последующих; во-вторых, амортизировать остановку падающего вниз тела и разгон в процессе отталкивания вверх на большом пути, в течение большого отрезка времени, в связи с чем огромный импульс сообщается телу при действии не чрезмерной силы опорного взаимодействия.

Помимо обеспечения максимальной или заданной высоты прыжка, спортсмен должен управлять еще двумя параметрами движения тела: направлением перемещения и кинетическим моментом. Особенно сложно осуществить это в прыжках на батуте и в акробатических прыжках.

Отталкивание вверх часто сопряжено с сообщением телу вращательного движения вокруг одной из горизон-

талльных осей, либо вокруг продольной оси тела, либо вокруг обеих этих осей одновременно. Разумеется, для «закручивания» тела необходимо затратить энергию, так что предельная высота прыжка в таких случаях оказывается соответственно меньше.

Отталкивание и рывки руками. Отталкивание и рывки руками можно выполнять за счет одних лишь рук (движения в плечевых, локтевых и лучезапястных суставах), за счет движений пояса верхних конечностей, а также за счет той или иной комбинации движений звеньев рук и пояса верхних конечностей.

Обычно когда требуется взаимодействие максимальной мощности, движения пояса верхних конечностей играют большую роль.

Отталкивание или рывок таким изолированным движением применяют в спортивной гимнастике, поскольку в одних случаях сгибание рук нарушило бы каноны вида спорта, в других (связанных с движением, близким по своему характеру к ударному) согнутыми руками нельзя было бы развить необходимую силу давления на опору (при отталкивании), в-третьих (в процессе рывка) для сколько-нибудь заметного сгибания рук не хватает ни силы, ни времени. Однако необходимо отметить, что незначительные, с ничтожным размахом движения звеньев рук все же в подавляющем большинстве случаев имеют место и играют существенную роль. Во-первых, они несколько увеличивают суммарный размах движений; во-вторых, обеспечивают предельную тонизацию соответствующих мышц и координационно облегчают предельное напряжение мышц пояса верхних конечностей; в-третьих, уменьшают нагрузки на костные ограничители и связочный аппарат суставов рук.

Иногда отталкивание совершается за счет энергичного сгибательного или разгибательного движения руками в плечевых суставах. При этом обычно это отталкивание стимулируется и форсируется соответственно разгибанием и сгибанием тела, включая грудной отдел позвоночника (механизм, аналогичный рассмотренному механизму маховых движений).

В борьбе рывки и толчки часто проводятся одними руками, что вызвано стремлением произвести действие неожиданно, чтобы противник как можно позже заметил его. Но так выполняются несильные рывки и толчки, назначение которых — «расшатать» устойчивость против-

ника, дезориентировать его, незаметно перевести в позу, удобную для проведения против него приема.

Для сильного толчка или рывка руками используют инерционность тела: «разгоняют» его в нужном направлении и затем выполняют само действие. При этом мышцы руки (рук), а зачастую и пояса верхних конечностей работают в уступающем режиме и могут развить большее предельное напряжение. Когда же и это напряжение оказывается недостаточным, на помощь приходят связочный аппарат и костные упоры.

При отталкивании во многих случаях специфическую роль играют кисти и пальцы рук: при удерживающем характере связи с опорой они обеспечивают уверенный динамический контакт с ней во время отталкивания в различных направлениях. Рывки без захвата пальцами в большинстве случаев вообще неосуществимы.

Задача изменения вращательного движения решается одним из трех способов: а) равнодействующая толчка или рывка (одной, двумя руками) создает вращающий момент относительно центральной оси тела (если оно может свободно вокруг нее вращаться); при этом меняется как поступательное, так и вращательное движение тела; б) одной рукой выполняется толчок, другой — равный по силе рывок, в результате чего на тело действует пара сил; при этом изменяется только вращательное движение тела; в) толчок или рывок, вызывая то или иное перемещение тела, вызывает и взаимодействия с другими телами, в результате чего телу сообщается момент импульса; при этом возможны различные варианты изменения поступательного и вращательного движений (в том числе и вращения вокруг закрепленной оси).

Сообщая толчком или рывком поступательное и вращательное движения другому телу, спортсмен всегда вызывает соответствующее изменение импульса своего собственного тела, так что он должен либо специальными действиями компенсировать этот эффект, либо учесть и правильно использовать его.

II.3.2. Локомоции

Скольжения. Скольжение — характерный тип частного действия в целом ряде видов спорта. Оно применяется при малом коэффициенте трения между опорным снарядами (коньки, лыжи, сани и т. п.) и опорой (снег,

лед, искусственные скользкие покрытия, а при большой скорости передвижения — и вода). Скольжение может быть пассивным — когда энергия для движения сообщается другими телами (воздухом, катером, Землей); активным — когда спортсмен, отталкиваясь, перемещает свое тело; смешанным — когда перемещение определяется обоими факторами одновременно.

При пассивном скольжении спортсмен должен управлять: а) величиной скорости тела, б) направлением его перемещения, в) устойчивостью тела (имеется в виду вся система «тело — опорный снаряд»). Рассмотрим эти три фактора.

Управлять скоростью перемещения можно при помощи выбора траектории движения (например, прямой спуск с горы или косой), изменением сопротивления воздуха (наклон или выпрямление туловища и др.). Можно притормозить или даже остановить движение, поставив лыжи или коньки таким образом, что их обращенные вперед края врезаются в лед или снег.

Чтобы изменить направление движения, спортсмен поворачивает один или оба конька, одну или обе лыжи. Их боковая поверхность встречает большое сопротивление, и в результате очень быстро устанавливается движение вдоль оси. Для резкого изменения направления движения энергично «закручивают» туловище в сторону поворота, что позволяет затем быстро повернуть одновременно (или одну за другой) обе ноги. Правда, в заранее предусмотренной серии следующих один за другим противоположно направленных резких поворотов (это характерно для горнолыжного спорта) «закручивание» туловища слабо выражено (возможен и поворот в обратную сторону), повороты осуществляются в основном ногами. «Отставание» туловища облегчает ориентировку и выполнение последующего поворота в другую сторону.

Сложнее всего управлять устойчивостью тела. С этой целью, во-первых, используют механизм сохранения устойчивости в стационарных позах равновесия; во-вторых, если это не помогает, применяют резкие взмахи руками и даже иногда одной ногой (механизм сохранения устойчивости в стационарных переменных равновесиях); в-третьих, меняют место опоры (перестановкой ноги, изменением направления движения) в соответствии с направлением потери устойчивости тела (механизм сохранения устойчивости в нестационарных равновесиях).

При активном скольжении отталкиванием ногами либо руками телу сообщается ускорение (в стартовом режиме). В установившемся режиме отталкиванием достигается компенсация потери скорости от трения опорных поверхностей.

При отталкивании горизонтальная составляющая реакции опоры может быть направлена вперед только в том случае, если вперед направлена сила трения. Но для этого лыжа должна либо стоять неподвижно, либо скользить назад. Коэффициент трения покоя значительно больше коэффициента трения скольжения, поэтому вариант со скользящей назад лыжей («отдача») неприемлем. Оба коэффициента зависят от смазки лыж, т. е. от подбора мази и от состояния снега.

Механизм отталкивания коньком иной: решающим фактором его является «врезывание» конька в лед (по всей длине лезвия — на беговых коньках, большей частью лезвия или носком — на фигурных или хоккейных коньках). Отталкиваться можно вперед или («жимовое» отталкивание) в сторону. В первом случае спортсмен отталкивается остановленным (неподвижным или почти неподвижным) коньком, во втором — коньком, движущимся примерно с той же скоростью, что и о. ц. т., но в несколько ином направлении. Во всех случаях сила отталкивания лезвием направлена под прямым углом к нему.

Активное скольжение на лыжах обеспечивается также и работой руками с помощью палок. Сначала осуществляется как бы притягивание тела к верхним концам палок, затем, после обгона их телом, отталкивание. Поскольку нажим руками вынужденно направлен вдоль палок, все время имеет место не только горизонтальная составляющая реакции опоры на это действие, но и вертикальная. При одноопорном или (в одновременных ходах) двухопорном скольжении она уменьшает тормозящую силу трения лыж о снег.

Следует заметить, что почти на всем протяжении отталкивания палками на тело действует опрокидывающий его назад момент силы реакции опоры (как и в начальной части отталкивания ногой). Импульс этого момента приходится компенсировать равным ему по величине и противоположно направленным суммарным импульсом момента силы тяжести тела и силы отталкивания ногой в его заключительной части.

Во избежание отдачи давить лыжей на снег нужно под таким углом к вертикали, чтобы его тангенс был не больше коэффициента трения покоя («сцепления») для данного состояния снега и данной смазки лыжи.

Плавание. Пловцу выгодно обеспечить наименьшее сопротивление воды и в то же время наибольшую величину направленной вперед составляющей реакции воды, поскольку ускорение тела пропорционально разности этих сил: $a_x = \frac{f_x - C_x}{m}$, где f_x — направленная вперед составляющая движущей силы, C_x — направленная горизонтально назад составляющая сопротивления воды, m — масса тела. Так как C_x приблизительно пропорционально квадрату скорости тела, то по мере ее возрастания очень быстро устанавливается равенство между C_x и f_x . Но поскольку f_x меняется во времени, разность ($f_x - C_x$) все время колеблется около нуля, становясь то положительной, то отрицательной, отчего a_x меняет знак и тело движется то ускоренно, то замедленно. Среднюю скорость следует называть скоростью проплывания данного отрезка.

Лишь в первом приближении можно говорить о стремлении пловца к достижению максимума f_x и минимума C_x . Дело в том, что эти два фактора и частоту гребков не всегда можно согласовать без компромисса: желая произвести по возможности частые, большие по размаху и мощные гребковые движения, пловец вынужден так менять конфигурацию тела, что C_x значительно возрастает. Следовательно, стоит задача *оптимизировать* частоту, размах и силу гребков, с одной стороны, и обтекаемость тела, с другой. Это одна из главных задач техники пловца.

Другая важная задача заключается в правильном сочетании (тоже оптимальном) частоты, длины и силы гребковых движений с умением восстанавливать работоспособность соответствующих мышечных групп. Ну, а кроме того, необходимо оптимизировать и соотношение частоты, размаха, силы и относительной эффективности гребковых движений и др. Различные частные задачи должны быть, в свою очередь, оптимально согласованы.

Эффективность гребковых движений, как и отражение их на величине C_x , несколько меняется в зависимости от скорости тела в воде, поэтому техника пловца должна соответствовать развиваемой им скорости. Благодаря относительно высокой скорости движения дистальные

звенья рук и ног встречают со стороны воды значительное сопротивление f_x (оно, как известно, пропорционально квадрату скорости).

Существуют общие правила снижения сопротивления воды продвижению тела вперед: 1) держать тело по возможности вытянутым в прямую линию; 2) стараться удерживать тело в положении, максимально близком к горизонтальному; 3) избегать быстрых движений руками и ногами в воде по направлению движения тела; 4) перемещать звенья рук и ног вперед к исходному положению, ориентируя их таким образом, чтобы их вклад в образование C_x был как можно меньше. Наиболее выгодно переносить руки в исходное положение для гребка по воздуху.

Шаговые действия. В спортивных шаговых действиях огромная роль принадлежит маховым движениям. Особенно возрастает она при выполнении этих действий в экстремальных условиях (спринтерский бег, прыжки на дальность). Это и понятно: маховые движения, вовлекая в действие дополнительные, не связанные с опорой, биомеханические цепи (и соответствующие мышечные группы), позволяют существенно повысить эффективность отталкивания и тем самым — скорость движения тела.

В шаговых действиях бывает важно установить правильное соотношение между отталкиванием ногой назад за счет разгибания в тазобедренном суставе и отталкивания за счет выпрямления ее в коленном и голеностопном суставах. Большую роль при этом играют угол и характер постановки ноги на отталкивание. Если спортсмен ставит ее «под себя», отталкивание будет направлено вперед; если далеко впереди вертикальной проекции ц. т. тела, — больше вверх, чем вперед. Мягкая постановка ноги, сопровождаемая ее сгибанием, предопределяет более длительное отталкивание и, следовательно, более позднее его окончание (при прочих равных условиях).

Целесообразно четко различать три понятия: угол отталкивания, угол выталкивания, угол вылета. *Угол отталкивания* — это угол между горизонтальной плоскостью и направлением полного импульса силы реакции опоры, включая амортизацию приземления после предшествовавшей фазы полета тела или амортизацию так называемого переднего толчка, если фаза полета отсутствовала. Угол отталкивания характеризует воздействие на опору и ее ответное действие на тело. *Угол выталкивания* — это

угол между горизонтальной плоскостью и направлением суммарного импульса силы реакции опоры и силы тяжести тела (а также связанных с ним предметов). Этот угол и величина суммарного импульса характеризуют изменение количества движения тела за время отталкивания, т. е. величины и направления скорости тела. *Угол вылета* — это угол между горизонтальной плоскостью и направлением скорости тела (его ц. т.) в момент окончания отталкивания. Он характеризует скорость вылета тела и совместно с ее величиной определяет траекторию его полета.

Следует иметь в виду, что наилучший выбор угла вылета определяется отнюдь не только соображениями внешней баллистики. Во-первых, для каждой скорости встречи с опорой¹ существует (надо учесть к тому же индивидуальные двигательные особенности человека) оптимальный угол отталкивания, при котором можно развить наибольшие усилия воздействия на опору, а значит, и импульс реакции опоры. Поэтому, скажем, дальность прыжка окажется максимальной не при наиболее близком к 45° угле вылета, а при гораздо меньшем.

Во-вторых, наиболее мощное отталкивание далеко не всегда наиболее эффективно: может неоправданно снизиться предшествовавшая отталкиванию горизонтальная составляющая скорости тела. Например, в прыжках в длину с разбега отталкивание не должно носить характер «стопора» (это позволило бы значительно повысить импульс реакции опоры и выше взлететь, увеличив время полета, но одновременно резко снизило бы горизонтальную скорость тела); отталкиваться надо как бы пробегая, акцентированным беговым шагом — так удастся лишь незначительно снизить скорость, приобретенную телом во время разбега, и хотя высота взлета и угол вылета меньше, чем при стопорящем толчке, скорость вылета будет намного больше. В результате спортсмен прыгнет дальше.

В-третьих, для многих шаговых действий дальность полета несущественна, а высота нередко даже вредна. Например, в легкоатлетическом беге специально добиваться большой длины шагов не имеет смысла: она определяется скоростью бега и высотой подъема ц. т. тела, а

¹ Скорость встречи с опорой — скорость тела (его ц. т.) в момент приземления и начала амортизации-отталкивания, причем имеются в виду и величина, и направление скорости.

высокий полет (бег прыжками) приводит к значительно-му снижению скорости бега и быстрому утомлению из-за перерасхода энергии на подъем тела и амортизацию приземления. Снижается скорость бега в первую очередь из-за трудностей, связанных с отталкиванием вперед после приземления со значительной вертикальной скоростью. Даже барьеры бегуны преодолевают стараясь как можно меньше поднимать ц. т. тела, чтобы на следующем шаге не потерять скорость.

В быстром беге очень велико значение размаха и формы движений безопорной ногой. Тут играют роль в первую очередь два соображения.

1. Нужно успеть вывести ногу вперед на исходную позицию для очередного отталкивания. Чтобы кратковременный контакт с опорой был достаточно эффективным, необходимо предварительно погасить скорость ноги относительно дорожки, иначе произойдет «натякивание» на ногу, сильный передний толчок, снижающий скорость бега. Скорость стопы маховой ноги при быстром беге даже у очень посредственного бегуна намного превышает 10 м/с. А нужно успеть примерно за $\frac{1}{3}$ с перевести ногу из крайнего заднего в крайнее переднее положение, остановить ее (относительно туловища) и «разогнать» в обратном направлении до скорости, приблизительно равной скорости бега (остановить стопу относительно дорожки).

Для быстрого перемещения ноги вперед бегун почти полностью сгибает ее в колене (уменьшение момента инерции облегчает ее разгон). Когда заканчивается движение бедра вперед-вверх, начинается «выхлестывание» голени вперед из-под бедра с одновременным энергичным опусканием ноги вниз. Активное опускание бедра осуществляется, в частности, за счет напряжения длинной головки его двуглавой мышцы, которое «выхлестыванием» голени ускоряется и форсируется (после быстрого высокого поднимания бедра, предварительно растягивающего эту двухсуставную мышцу). Дополнительно растягиваемая разгибанием голени активная мышца развивает большое упругое напряжение, позволяющее без больших метаболических энерготрат в столь короткое время изменить направление движения ноги на обратное (относительно туловища, конечно). Упругость перерастянутой длинной головки четырехглавой мышцы бедра аналогично используется и для возвратного движения ноги вперед из крайней задней точки. Растянуть мышцу помогает

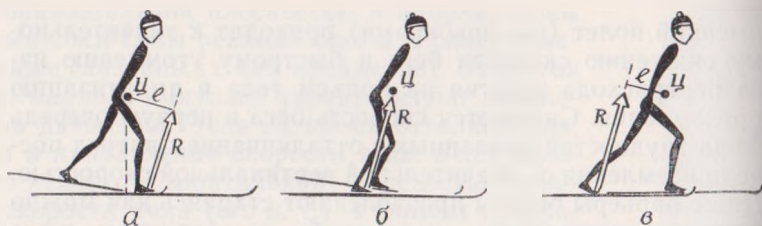


Рис. 51. Отталкивание ногами в лыжных ходах.

Вектор R наклонен под постоянным критическим углом, определяемым коэффициентом сцепления лыж с лыжней; увеличение наклона приведет к проскальзыванию, уменьшение — к снижению эффективности отталкивания. Сила R действует все время внецентренно (см. a и v), лишь в одной точке (b) она направлена к ц.т. тела и не создает вращающего момента

«забрасывание» голени назад: быстрое сгибание ноги в колене, предельно отведенном назад.

2. Влияние маховых движений на эффективность отталкивания и механизм этого влияния были рассмотрены в разделе II.2.1. Основы биомеханического воздействия махового выноса ноги вперед на отталкивание те же.

При быстром беге достижимая величина горизонтальной составляющей реакции опоры (а следовательно, в конечном счете и скорость бега) зависит от способности спортсмена с большой скоростью перемещать опорную ногу назад относительно туловища (зависимость «сила — скорость»). Поэтому большое значение имеет содружественный поворот таза в каждом шаге, позволяющий при той же скорости движения в тазобедренном суставе быстрее перемещать стопу (биомеханический смысл «несущих движений» см. в II.2.5). Чтобы иметь возможность на следующем шаге точно так же повернуть таз в противоположную сторону, необходимо избежать вращения всего тела вокруг вертикальной оси. Это достигается поворотом пояса верхних конечностей в сторону, противоположную повороту таза, и «перекрестным» (по отношению к ногам) махом руками.

При анализе шаговых действий не следует думать (распространенная ошибка), будто сила реакции опоры направлена к ц. т. тела либо по оси ноги. Это возможно только в момент, показанный, например, на рис. 51, б; все остальное время сила реакции опоры действует не центрально, оказывая вращающее действие на тело спортсмена: часть времени опрокидывающее назад (рис. 51, а), часть — вперед (рис. 51, в). Так, в скользящем шаге на

движках динамическое регулирование кинетического момента тела относительно поперечной оси осуществляется во время скольжения путем выбора места опоры относительно проекции ц. т. тела. Как показано на рис. 51, а, отталкивание начинается с момента остановки лыжи, т. е. раньше, чем проекция ц. т. тела окажется в пределах площади опоры. В фазе так называемого (вряд ли удачно) «зависания» нужно путем *активного* сгибания голени добиться достаточно большого горизонтального воздействия на лыжню, чтобы угол наклона реакции опоры был предельно близок к критическому.

II.3.3. Управление вращением тела

Повороты. Сложность поворотов далеко не всегда определяется их величиной, хотя при прочих равных условиях такая зависимость проявляется очень четко. Сложность может быть координационного плана, она может заключаться в сохранении устойчивости тела, в ограниченности времени выполнения, в большом силовом запросе.

Сложности координационного плана появляются тогда, когда нет хорошей опоры для развития необходимого вращающего момента либо когда поворот приходится выполнять на фоне другого частного действия, достаточно сложного или трудносочетаемого с поворотом. Примеры: поворот в стойке на одной ноге или тем более на одной руке; повороты при ведении мяча на бегу (баскетбол); поворот во время кувырка или сальто. Во всех этих случаях нужен, конечно, специфический навык, но в то же время во втором и в третьем случаях требуется и неспецифическое умение распределять внимание между двумя различными действиями.

Очень часто выполнить сам по себе поворот несложно, но трудно сохранить устойчивость тела во время поворота и после него. Таковы повороты в сложных равновесиях (на руках, на одной ноге, на ограниченной опоре), в быстром движении, в прыжке, заканчивающемся статическим положением, особенно сложным равновесием. Выполняя такого рода поворот, следует очень «жестко» держать тело и точно рассчитывать величину и особенно направление вращающих моментов, обязательно имея в виду конечное положение. Следует помнить, что быстрые повороты на большой угол могут вызвать сильное раздра-

жение вестибулярного аппарата, приводящее к определенному произвольному перераспределению мышечного тонуса и потому к затруднениям в сохранении устойчивости. Если при поворотах без перемены места опоры трудность состоит в сохранении положения ц. т. тела неизменным (или по крайней мере в небольшой области допустимых перемещений), то при поворотах, связанных с переменной места опоры, — в умении переместить ц. т. тела точно в заданную область (выбранную с учетом количества движения и кинетического момента тела).

Иной раз требуется совершить поворот на большой угол за очень короткое время. Чтобы успеть это сделать, надо начинать поворот как можно раньше: необходимые мышечные напряжения и опорные взаимодействия в таких случаях нужно развивать еще до того, как станет заметным сам поворот. Ведь необходимо время на напряжение мышц, на «микродвижения», связанные с деформациями опорных, да и других звеньев биомеханической цепи, на малозаметные «скручивания» таза или пояса верхних конечностей, как бы предшествующие основной части поворота, на «закручивающие» движения руками или ногами (ногами).

Когда основным препятствием для выполнения поворота является его большой силовой запрос (в борьбе, в некоторых элементах спортивной гимнастики), следует, во-первых, увеличить плечо вращающей силы (конечно, в разумных пределах): это позволит развить нужный момент, снизив мышечные усилия; во-вторых, уменьшить момент инерции поворачиваемого тела (или системы тел).

Угловой скоростью тела можно управлять путем изменения его момента инерции относительно оси вращения:

$$\omega = \frac{Q}{I} \quad (\text{см. 1. 2}).$$

Выполнение безопорных поворотов без переворачивания (в прыжке, в соскоке) может быть основано на трех различных механизмах. Первый — «закручивание» (сообщение вращательного импульса) от опоры, как при опорном повороте. Второй (поворот туловища на угол менее 180°) — широкое разведение ног и рук, момент инерции которых относительно продольной оси тела в этом случае много больше, чем у туловища: поворот туловища влечет за собой лишь небольшой, противоположно направленный поворот ног и рук. Поворот же конечностей вокруг их продольных осей противоположно направлен и потому час-

тивно взаимно компенсируется. Третий механизм — последовательное круговое сгибание тела: так называемые конусообразные движения ногами и туловищем в одном направлении, позволяющие в соответствии с законом сохранения кинетического момента повернуть ноги и туловище вокруг их продольных осей в противоположную сторону. Так удастся совершить поворот на угол до 360° , если времени для этого достаточно.

Повороты с одновременным переворачиванием осуществляются как с использованием первого и третьего из названных механизмов, так и (в большей степени) механизма, впервые описанного В. Т. Назаровым, а затем Н. Г. Сучилиным¹. В этом случае для сообщения телу вращения вокруг продольной оси нужно вывести ее из плоскости переворачивания тела, что достигается специальными движениями руками или отталкиванием от опоры.

Переворачивания. Переворачивания делятся на опорные (без потери контакта с опорой: перекаты, кувырки, перевороты, переворачивания с полной поддержкой партнера), безопорные (основная часть их совершается в безопорном состоянии: сальто, опорные прыжки с переворачиванием, соскоки с переворачиванием), опорно-безопорные (основная часть их совершается в опорном состоянии, но имеются и безопорные фазы: перевороты с фазой полета, переворачивания с частичной поддержкой партнером, соскоки с опорным — в основном — переворачиванием).

В кувырках и перекатах главное внимание приходится обращать на то, чтобы последовательное соприкосновение участков тела с опорой происходило без удара, а также на энергетическое обеспечение той части упражнения, во время которой приходится преодолевать действие силы тяжести. В этом помогает накопление в первой части кувырка или переката значительной кинетической энергии. Основная задача в переворотах — перемещение ц. т. тела в сторону нового места опоры, чтобы можно было встать. Для этого телу сообщают поступательное и вращательное движения в нужном направлении (кинетическая энергия превращается в потенциальную по мере подъема ц. т. тела при вставании). Решение задачи об-

¹ В. Т. Назаров. Биомеханика физических упражнений. Рига, Изд. Рижского политех. ин-та, 1975; Н. Г. Сучилин. Гимнаст в воздухе. М., ФиС, 1978.

легчается близким расположением нового места опоры, что часто требует хорошей гибкости и рационального построения движений. Переместить ц. т. тела в нужном направлении также помогает активная работа ногами или руками на новом месте опоры.

При выполнении опорно-безопорных переворачиваний решающую роль играют опорные периоды, во время которых спортсмен сообщает телу нужные количество движения и кинетический момент. Как правило, в такого рода переворачиваниях надо стараться большую часть вращения тела произвести в безопорном периоде, в то же время максимально используя энергообеспечивающие возможности опорного периода. Но бывают и исключения: например, при выполнении фляка желательнее свести до минимума безопорные периоды, особенно первый.

Трудность опорно-безопорных переворачиваний иногда состоит в необходимости обеспечить накопление телом энергии для выполнения безопорной части (например, в опорных прыжках переворотом); иногда — в сложных условиях опорной части (например, фляк с поворотом в вольных упражнениях или фляк в сед ноги врозь на бревне), а иногда — в точном завершении (на бревне, например).

В опорной части опорно-безопорного переворачивания часто выгодны маховые движения и *большой* момент инерции тела относительно центральной оси: так удастся накопить больший кинетический момент. В безопорном же периоде легче совершить поворот тела вокруг поперечной оси в том случае, если *уменьшить* момент инерции тела. Это достигается сгибанием или группировкой тела. Следует помнить, что кинетический момент тела в безопорном периоде предопределяется главным кинетическим моментом¹ этого тела при завершении предшествовавшего опорного периода, а не кинетическим моментом относительно оси вращения. Движение же ц. т. тела определяет его траекторию в безопорном периоде.

Безопорные переворачивания особенно широко представлены в прыжках на батуте и в воду; большое место они занимают в программах старших разрядов по спортивной гимнастике и акробатике. Причем в современном спорте все чаще выполняются одно- и многократные пере-

¹ Главным кинетическим моментом тела называют его кинетический момент относительно центральной оси.

переворачивания, сочетаемые с одно- и многократными прыжками. Это требует накопления большой энергии в предшествующем безопорном периоде и достигается различными путями. На батуте — благодаря упругости и эластичности¹ снаряда, позволяющем накапливать энергию нескольких прыжков. На трамплине также используется упругость и эластичность снаряда, а к тому же превращение места отталкивания над местом завершения прыжка (в прыжках с вышки существен только последний фактор). В опорных прыжках энергообеспечивающими факторами являются разбег и упругость мостика. В акробатических прыжках существенна упругость акробатической дорожки или помоста, но больше значит разбег в форме обычного бега или фляков (рондата). Но во всех этих случаях решающую роль энергетического и упругого фактора играет отталкивание от опоры (ногами, руками). Поэтому чрезвычайно важно создать условия для наиболее эффективного выполнения этого отталкивания. В соскоках с перекладины и колец дело обстоит иначе: накопление кинетической энергии достигается главным образом превращением в нее потенциальной энергии предварительно высоко расположенного тела при его опускании вниз.

Выполняя переворачивание, спортсмен вынужден согласовывать между собой четыре параметра: приобретенный телом перед отрывом от опоры кинетический момент, время от момента прекращения контакта с опорой до приземления (входа в воду), главный момент инерции тела и необходимый угол поворота тела. Из них последний жестко задан, второй только в некоторой мере зависит от высоты вылета тела (лишь в прыжках на батуте и в акробатических прыжках время полета определяется высотой вылета). В основном спортсмен управляет первым и третьим параметрами, варьируя их с учетом второго и четвертого как заданных.

При выполнении многократных переворачиваний и переворачиваний с поворотом на большой угол очень трудно обеспечить нужное положение тела в момент приземления или входа в воду (приход на любую опору для простоты можно также называть приземлением). Чтобы

¹ Это родственные, но не идентичные понятия. Упругость — способность тела к деформациям (при значительном сопротивлении им) с последующим восстановлением формы или объема. Эластичность — способность к большим упругим деформациям.

справиться с этой трудностью, необходимо научиться очень точно определять момент приземления или входа в воду по общему времени полета, а также зрительно контролировать ориентацию в пространстве и положение своего тела в безопорном периоде.

Действия в длительном полете. Представляется целесообразным под «длительным полетом» подразумевать (весьма условно) безопорное состояние длительностью более 0,5 с, когда уже имеется реальная возможность обнаруживать недостатки в ходе выполнения упражнения и вносить необходимые коррективы. Из этой группы действий следует исключить (также условно) действия, основу которых составляют переворачивания. Действия в длительном полете могут быть направлены на решение двигательных задач нескольких типов.

Удержание заданной позы. Для решения этой задачи спортсмен должен контролировать свою позу зрительно, а главным образом с помощью проприорецептивной чувствительности. Во время сложных вращений, приземлений и значительных изменений взаимодействия с опорой удерживать заданную позу зачастую не удастся даже высококвалифицированным спортсменам. Наиболее типичные ошибки: неверное положение ног (разведены, согнуты, перекрещены); неверное положение головы; несколько согнутое (вместо прямого) положение тела. Общий характер и детали позы обычно диктуются эстетическими соображениями.

Управление вращательным движением тела. Здесь имеется в виду как управление небольшими поворотами и переворачиваниями, так и *предотвращение* поворота или переворачивания тела: борьба с поворотом может осуществляться с помощью «конусообразных» движений (см. II. 3. 4) в сторону поворота, а также за счет увеличения момента инерции тела относительно его продольной оси; противодействию переворачиванию достигается круговыми движениями руками (в сторону опрокидывания) в боковых плоскостях или «беговыми» движениями ногами (так называемые «ножницы» или «бег по воздуху» в прыжках в длину). Механическая сущность «беговых» движений ногами состоит в том, что мах назад выполняется прямой ногой, а мах вперед — согнутой, момент инерции которой раза в три меньше. В результате у туловища «отбирается» та или иная часть кинетического момента (согласно закону сохранения кинетического мо-

мента), т. е. осуществляется противодействие его опрокидыванию вперед¹.

Подготовка к приземлению, входу в воду, переходу в вис. Эта задача решается изменением позы, что и само по себе не так уж просто, когда требуется точность действий. Но нередко подготовка к приземлению или входу в воду связана со значительным изменением момента инерции тела при быстром его вращении, и нужно точно рассчитать, когда это сделать. Наконец, при приземлении необходимо резко перестроить систему напряжений мышц почти всего тела, что требует времени (десятые доли секунды). Значит, начинать эту перестройку необходимо еще в полете, предвосхищая ситуацию приземления.

Вращения тела вокруг несвободной оси. Они характерны для гимнастических упражнений на снарядах. Особенность этих действий в том, что движение тела происходит вокруг неподвижной или подвижной и управляемой опорной оси. Они весьма многообразны, и здесь можно коснуться только некоторых общих особенностей управления ими.

В упражнениях в висе увеличение маха достигается однонаправленным посылом ног или всего тела после прохождения нижней вертикали. Такое же движение до прохождения нижней вертикали или обратно направленное после нее приводит к уменьшению маха. Уменьшение момента силы тяжести относительно оси вращения при движении тела снизу вверх — к его увеличению. Уменьшение момента инерции тела относительно оси вращения увеличивает его угловую скорость в обратной пропорции. Следовательно, приращение скорости (положительное или отрицательное) будет тем больше, чем больше скорость движения тела во время уменьшения или соответственно увеличения момента инерции.

Сжимание пальцами грифа перекладины или жерди брусьев разной высоты может существенно уменьшить мах. При движении махом назад хватом сверху или махом вперед хватом снизу не следует сжимать гриф или жердь пальцами: это ведет к «отставанию» кисти, а в конечном счете — к ее раскрытию и опасному ослаблению хвата. Нужно стараться повернуть всю кисть по ходу движения, как бы стремясь сделать хват более глубоким.

¹ В. Б. Коренберг. Не только пожницы. «Легкая атлетика», 1960, № 4.

Известная часть энергии при рассматриваемых частных действиях тратится на трение, на различного рода деформации тканей тела, на ошибочные движения и др. Чтобы выполнить полный оборот, а тем более накопить избыточную энергию, необходимо с затратой мышечных сил увеличивать ее специальными движениями, прежде всего направленными на преодоление инерционных сил и силы тяжести. Если нужно сообщить телу скорость, направленную вверх, следует активными воздействиями на снаряд обеспечить телу вращательный импульс, направленный противоположно имеющемуся вращению. Поэтому подлет тела обычно сопряжен с уменьшением скорости его вращения, а нередко и с переменной направлением вращения на обратное. Пример такого рода действий — соскок лётком через перекладину.

Обороты в упоре в биомеханическом плане намного сложнее: движение основных масс тела происходит вокруг подвижной оси, которая чаще всего перемещается по окружности или близкой к ней кривой вокруг параллельной ей фиксированной оси. Таким образом, нужно управлять одновременно вращательными движениями тела вокруг общей оси плечевых суставов и перемещениями плечевой оси (в упражнениях на перекладине, брусьях, кольцах, бревне, вольных упражнениях). В маховых упражнениях на коне (типа скрещений) тело вращается вокруг переднезадней оси, которая сама все время перемещается во фронтальной плоскости.

В кругах двумя ногами тело вращается как вокруг переднезадней, так и вокруг поперечной осей, которые, в свою очередь, перемещаются одновременно в боковом и переднезаднем направлениях. В конечном счете ц. т. тела как в маховых, так и в круговых элементах, выполняемых без перемены места опоры, перемещается главным образом вверх-вниз, а вперед-назад и в стороны — крайне незначительно. Так что в маховых упражнениях вращение тела можно считать происходящим вокруг его переднезадней центральной оси, смещающейся лишь в вертикальном направлении, в круговых — одновременно вокруг двух центральных осей: поперечной и переднезадней (происходит движение тела по двум конусным поверхностям с общей вершиной вблизи ц. т. тела: верхнюю поверхность описывает туловище, нижнюю — ноги).

Управление (в энергетическом плане) при маховых упражнениях на коне осуществляется отталкиванием од-

одноименной маху рукой вверх, коррекцией положения плеч с целью избежать значительного перемещения ц. т. тела в горизонтальном направлении, боковыми сгибаниями тела, повышающими эффективность отталкивания руками. При круговых же упражнениях (в установившемся режиме) управление осуществляется некоторым «подкручиванием» во время двойной опоры (для компенсации рассеяния энергии), незначительным отталкиванием руками перед очередным перемахом (тело несколько сгибается в одноименную сторону), коррекцией положения плеч с целью стабилизации положения ц. т. тела.

В упражнениях с переменной места опоры спортсмен посылает ц. т. тела в сторону новой опоры, с учетом, однако, последующего ее изменения, если оно должно быть.

Упражнения на брусках разной высоты часто связаны с перелетами или переходами с жерди на жердь. При этом необходимо так рассчитать поступательное и вращательное движение тела в фазе полета, чтобы прийти в упор или вис на другой жерди в требуемой позе и с нужной ориентацией тела в пространстве. Энергия сообщается телу либо движениями в плечевых суставах, поддерживаемыми (в качестве маховых) движениями в тазобедренных суставах, либо резким разгибанием при опоре о жердь животом или бедрами.

В упражнениях на брусках разной высоты встречаются обороты (полные, неполные) — действия без хвата руками — опорой бедрами. Это могут быть целые элементы либо (чаще) отдельные их фазы.

II.4. ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ УПРАЖНЕНИЯ

II.4.1. Психологический аспект управления двигательными действиями

Психологическая установка¹ на выполнение двигательного действия (для краткости ее можно называть «двигательной установкой»). Следует различать установку на данный тип двигательной деятельности (например, на бег, прыжки или игру в баскетбол) и установку на данное конкретное действие (например, на прыжок в длину с разбега или на активное приземление в конце прыжка).

¹ И. Т. Б ж а л а в а. Психологическая установка и кибернетика. М., «Наука», 1966.

Установка представляет собой в некотором роде проект и подготовку решения двигательной задачи. Это значит, что спортсмен предрешает характер двигательной деятельности, состав и структуру системы движений, распределение внимания, оценочные критерии и систему контроля двигательной деятельности и даже частных действий, но все это в самых общих чертах. В плане решения двигательной задачи происходит определенная организация мышечного тонуса, целенаправленная перестройка работы внутренних систем и органов энергообеспечения, адекватная настройка системы активной афферентации и даже известная эмоциональная настройка. Нередко в рамках двигательной установки подсознательно происходит «черновая» идеомоторная подготовка к предстоящим двигательным действиям.

Под непосредственным воздействием двигательной установки «извлекается» из памяти и по мере необходимости дотраивается или перестраивается смысловая программа действия (действий), раскрывающая смысловое содержание двигательных действий и наиболее значимых их деталей, а также определяющая их место в общей системе движений и действий, смысловую взаимосвязь движений и действий внутри системы, т. е. ее *смысловую структуру*. Мобилизуются, приводятся в состояние готовности соответствующие предстоящей деятельности «разделы» памяти, что обеспечивает более оперативное извлечение из нее необходимой информации.

В зависимости от масштаба двигательной установки, т. е. от объема охватываемой деятельности, в той или иной мере конкретизируются и детализируются названные ее компоненты. Обычно создается *иерархическая система установок*: в рамках и на основе более общих формируются и реализуются более узкие, а в их рамках и на их основе еще более узкие.

Двигательная память. Темпы и качество овладения спортивной техникой во многом зависят от развития двигательной памяти. Двигательная память спортсмена — способность воспроизводить ранее уже реализованные системы движений и действий. При плохой двигательной памяти приходится многократно разучивать одни и те же упражнения, отдельные их детали, проделывать одну и ту же работу по исправлению ошибок. Двигательная память тренируема и в процессе занятий спортом совершенствуется. Однако совершенствование ее происходит значи-

тельно быстрее, если спортсмен все время контролирует и анализирует свои двигательные действия, держит их, по образному выражению И. П. Павлова, «в светлом пятне сознания». В частности, в этом случае двигательная память меньше «засоряется» ошибками (которые ведь тоже могут запоминаться).

Эмоции и двигательная деятельность. Механизм эмоционально-эволюционно сложился как один из основных регуляторов восприятия и поведения. В двигательном аспекте это означает следующее.

Положительные эмоции, в меру выраженные, приводят к повышению двигательных возможностей человека. Они способствуют возникновению и поддержанию интереса к выполнению упражнений, чувства уверенности в себе, повышают работоспособность, внимание, тонкую координацию движений.

Однако сильно выраженные положительные эмоции чаще мешают полноценной двигательной деятельности, чем способствуют ей: наряду с чувством уверенности в себе у спортсмена появляется склонность к переоценке своих сил, преувеличению своих двигательных возможностей. Иной раз это помогает добиться особенно высокого результата, но гораздо чаще приводит к неудаче. Сильные положительные эмоции влекут за собой неустойчивость внимания, снижение самокритичности, огрубление дифференциального и смыслового (логического) контроля движений, приводят к неадекватным реакциям.

Кроме того (и это необходимо принимать во внимание), такое состояние часто неустойчиво, и первая же неудача может привести спортсмена в состояние уныния, апатии и т. п. Поэтому сильные положительные эмоции следует *снижать* (если, конечно, тренировка или соревнования не остались позади).

Отрицательные эмоции очень разнообразны. Такие эмоции, как грусть, уныние, печаль, отчаяние и особенно страх, безусловно, вредны и с ними необходимо бороться. Но вот к эмоциям тревоги, раздраженности, гнева столь безапелляционный подход неразумен.

Отрицательные эмоции неразрывно связаны с выделением в кровь значительного количества гормона адреналина, от которого зависят их некоторые важные особенности. Адреналин вызывает, в частности, повышение кровяного давления, улучшение кровоснабжения сердечной мышцы и вообще работающих мышц (а значит, и повы-

шение их работоспособности), стимуляцию дыхательной и сердечной деятельности, уменьшение времени моторных реакций, повышение возбудимости зрительного анализатора и понижение возбудимости болевого.

В эмоции тревоги (если она умеренна по силе) для спортсмена полезно то, что под ее влиянием резко повышается устойчивость и напряжение внимания, обостряются восприятия, она заставляет более критически подходить к оценке ситуации, настраивает на значительные волевые усилия для достижения цели. Однако эмоция тревоги не должна долго владеть спортсменом, ее должна «перекрыть» так называемая «спортивная злость».

Раздраженность и гнев можно считать различными по силе вариантами одной эмоции. Для них характерны более выраженные, чем при тревоге, мобилизация воли, стимуляция сердечно-сосудистой и дыхательной систем, повышение возбудимости нервно-мышечного аппарата и вместе с тем стереотипизация действия, нарушение тонкой координации движений, дезорганизация внимания. Раздраженность и гнев также необходимо трансформировать в «спортивную злость» — тогда отрицательные сдвиги, характерные для этих эмоциональных состояний, смягчаются.

В рассматриваемом плане к отрицательным эмоциональным состояниям тесно примыкает и такая нейтральная эмоция, как стартовое возбуждение. Она также неразрывно связана с выделением в кровь повышенного количества адреналина.

Есть множество сторонников точки зрения (можно даже сказать, что в спортивной педагогике она господствует), согласно которой стартовое возбуждение надо обязательно подавлять, стараться «нормализовать» психическое состояние спортсмена на соревнованиях. На это обычно направлена и аутогенная подготовка к выступлению непосредственно перед ним и задолго до него. Между тем такая тактика целесообразна только в тех случаях, когда возбуждение настолько сильно, что спортсмен теряет действенный контроль над собой. Разумно снизить степень возбуждения (но не снять его совсем) — это снизить настолько, чтобы спортсмен мог уверенно сохранять двигательный самоконтроль. Ниже этого уровня — неразумно, поскольку спортсмен лишится серьезных преимуществ, даваемых состоянием стартового возбуждения: повышения силовых и скоростных возможностей мышеч-

ний системы, работоспособности организма, реактивности. Стартовое (или соревновательное) возбуждение подчас позволяет спортсмену добиться таких высоких результатов, какие недоступны для него в спокойном, уравновешенном состоянии.

Таким образом, при сохранении двигательного самоконтроля стартовое возбуждение выгодно, и чем оно выше (при названном условии), тем лучше. Поэтому надо стараться научиться двигательному самоконтролю при возбуждении, что позволит без вреда поднять его уровень. Видимо, именно это главный путь преодоления негативных стартовым возбуждением отрицательных явлений, а не снятие самого возбуждения.

II.4.2. Проблема целесообразной индивидуализации выполнения упражнения

Представляется полезным четко различать между собой понятия «техника упражнения» и «техника выполнения упражнения».

Техника упражнения — это объективный по содержанию и по форме план эталонной системы частных действий, обеспечивающий в стандартной ситуации хорошее выполнение данного упражнения достаточно физически подготовленным спортсменом. План строится на основе чужого либо личного или коллективного двигательного опыта и определенных биомеханических (в некоторых видах спорта еще и эстетических) представлений. Проявляется тенденция к совершенствованию техники упражнения по мере развития соответствующего вида спорта.

Техника выполнения упражнения носит смешанный, объективно-субъективный характер. Это программа частных действий и движений, которую на основе знания техники упражнения спортсмен составляет применительно к себе и старается реализовать для наиболее целесообразного решения двигательной задачи в данном упражнении. Движения и действия программируются в основном как субъективные афферентные комплексы: динамические воздействия — как усилия, движения — как их видимая и вообще ощущаемая самим спортсменом картина, место моментов начала движений и действий — моменты начала соответствующих усилий (с необходимым упреждением) и т. п. Вместе с тем в план могут быть включены и объективные компоненты: основанные на виденном

представления об общей картине движений и частных действиях и движениях; основанные на двигательном опыте и теоретических предпосылках представления о промежуточном и конечном результатах выполнения упражнения и др. *Техника выполнения упражнения данным спортсменом может совершенствоваться и при неизменной технике упражнения.*

В процессе выполнения упражнения рождается его *реализованная техника*: система движений и действий, представляющая собой конкретную реализацию техники упражнения. В повторных попытках она может быть совершенно различной, что зависит от внешних и внутренних причин, в том числе и от случайных факторов. В конечном итоге спортсмена интересует именно реализованная техника упражнения; техника упражнения и техника выполнения упражнения для него лишь *средства* достижения реализованной техники упражнения. Следовательно, логично ставить вопрос об их адекватности особенностям двигательной ситуации и индивидуальным особенностям спортсмена. Вопрос этот уже обсуждался в некоторых работах¹, поэтому здесь можно ограничиться конспективным его освещением, хотя ряд положений изложен по-новому.

Техника упражнения может быть *нормализованной* (для стандартной двигательной ситуации), *сочетательной* (измененной в связи с непосредственно предшествующими или последующими упражнениями, двигательно тесно связанными с данным, а также в связи с действиями противника или партнера), *ситуационной* (измененной в связи с особенностями противника, самого спортсмена, двигательной ситуации), *индивидуальной* (соответствующей индивидуальным двигательным особенностям спортсмена и его биомеханическим и эстетическим представлениям), *поисковой* (варианты техники упражнения, рассматриваемые и опробуемые в порядке разработки новой техники известного или нового упражнения).

Техника выполнения упражнения может быть *адекватной* или *неадекватной* избранному варианту техники упражнения. При этом следует иметь в виду, что одна и та же техника выполнения упражнения может быть по от

¹ В. Б. Коренберг. Надежность исполнения в гимнастике. М. ФиС, 1970; Техника и методика гимнастики. М., «Просвещение», 1971.

ращению к соответствующей технике упражнения для одного спортсмена адекватной, для другого — неадекватной, вместе с тем одинаково адекватными для разных спортсменов могут оказаться существенно различающиеся варианты техники выполнения упражнения.

В видах спорта, где существен эстетический фактор, техника выполнения упражнения может иметь *различную стилевую окраску* (то, что часто называют манерой исполнения: сухая, мягкая, мужественная, темпераментная, лиричная, изящная и т. д.). Техника выполнения упражнения может быть *более или менее надежной* (ее состав и структура более или менее надежны в реализации), *более или менее целесообразной* (более или менее адекватной двигательным возможностям и особенностям спортсмена в той или иной ситуации), а также *более или менее тонкой* (в ней могут быть предусмотрены большая или меньшая детализация и точность пространственных и временных компонентов).

Реализованная техника упражнения есть также и результат процесса реализации техники выполнения упражнения. Этот процесс применительно к данному спортсмену может характеризоваться *большей или меньшей точностью, стабильностью, надежностью*. Реализованная техника упражнения может быть оценена по *качеству*: отличная, хорошая, удовлетворительная и т. п. (градации могут быть и другими), по *степени удачности выполнения*, а также по *степени адекватности избранному варианту техники упражнения*.

Вопрос о целесообразной индивидуализации техники выполнения упражнений имеет огромную практическую важность. Если техника упражнения, как правило, плод огромного коллективного опыта и лишь очень немногим удается внести в нее эффективные изменения, то становление техники выполнения упражнений — дело каждого спортсмена и тренера, и возможности ее совершенствования неисчерпаемы. Спортсмен и тренер просто вынуждены все время искать пути и способы совершенствования субъективных и объективных (главным образом, субъективных) компонентов техники выполнения упражнений. Одним из важнейших резервов здесь является целесообразная индивидуализация. Образно говоря, спортсмен должен разумно, со знанием дела подогнать «по своей фигуре» (по своим двигательным особенностям) «шлуду-фабрикат» — стандартизованную, обобщенную, тем

самым обезличенную технику выполнения упражнения, которая для всех является первым ориентиром на пути освоения упражнения.

Здесь следует затронуть вопрос о вариативности выполнения двигательных и частных действий. Н. Г. Сучилин (1978) предложил различать оптимальный и допустимый диапазоны вариативности выполнения упражнения, подразумевая под первым такой, рамки которого ограничивают *безошибочное* выполнение действия, под вторым — такой, рамки которого гарантируют *приемлемое* его выполнение, т. е. в достаточной мере эффективное. Рассматривая упражнения спортивной гимнастики, он имел в виду геометрические и кинематические характеристики системы движений. Думается, можно с полным правом распространить эту классификацию и на ритмические и динамические характеристики.

По-видимому, выделение таких диапазонов вариативности целесообразно. Однако обозначение первого из них представляется не совсем удачным, поскольку термин «оптимальный» несет в себе скрытую ссылку на процесс оптимизации, с которым не связано обозначаемое понятие. Можно думать, больше здесь подходит термин «нормализованный», отражающий не только безошибочность выполнения, но и закономерность изменения этого диапазона с изменением требований к нормализованной технике соответствующего упражнения или действия. Термином же «оптимизационный» представляется логичным обозначить третий вид диапазона, определяющий целесообразную для данного спортсмена в данной ситуации (внешней и внутренней) максимальную вариативность, являющуюся следствием оптимизации выполнения с учетом всех основных определяющих факторов (физической, технической и психической подготовленности спортсмена, его текущего состояния, особенностей соревновательной или тренировочной ситуации, внешних условий деятельности и др.).

Таким образом, целесообразно различать нормализованный, допустимый и оптимизационный диапазоны вариативности выполнения двигательных и частных действий.

II.4.3. Надежность выполнения упражнений и действий

Надежность и стабильность. Надежность — это обобщенная функциональная характеристика, количественно измеряемая вероятностью удачной попытки выполнить упражнение в заданных условиях. Вероятность выражается в процентах или в долях единицы — как отношение ожидаемого числа удачных попыток к общему их числу. Надежность следует отличать от стабильности, хотя эти характеристики в известной мере и связаны между собой. Стабильно хорошее (выше удовлетворяющего количественного уровня) выполнение упражнения является в то же время и надежным, надежность же выполнения чаще всего сопровождается его стабильностью. Однако имеется и принципиальное различие между этими понятиями, которое нельзя игнорировать.

Стабильность выполнения упражнения характеризуется степенью однообразия, одинаковости, совпадения попыток выполнения упражнения; стабильность результата — степенью его разброса. Чем меньше различие, тем выше стабильность. Например, выполнение фигуристом программы каждый раз на оценку 4,1—4,2 балла следует охарактеризовать как в высшей степени стабильное, куда более стабильное, чем при колебании оценки в диапазоне 5,5—5,8 балла. Не очень опытный теннисист весьма стабильно принимает слева сильные подачи: в девяти случаях из десяти отправляет мяч в верхний край сетки прямо перед собой. Его товарищ проделывает то же самое лишь в трех случаях из десяти, а в семи — переправляет мяч на площадку противника. У первого стабильность много выше.

Таким образом, стабильность совсем еще не гарантирует нужного качества выполнения упражнения, она лишь свидетельствует о высокой его воспроизводимости.

Что касается надежности, то дело обстоит иначе. Устанавливается нижняя граница удовлетворяющего эффекта выполнения упражнения. Все, что выше этой границы, засчитывается как удача, ниже — неудача. Так, если оценка фигуриста 5,5 балла устраивает его или команду, то диапазон результатов 5,5—5,8 балла определяет чрезвычайно высокую надежность, а диапазон 4,1—4,2 балла — нулевую. В примере с теннисистом в первом случае надежность не более 0,1 (10%), во втором (если спорт-

смена устраняет любой результат удара, кроме непосредственной потери очка) — 0,5 (50%). Таким образом, оценки надежности и стабильности полностью разошлись.

И все же увеличение стабильности выполнения упражнений, частных действий и их деталей, характеризующее в большинстве случаев совершенствование и автоматизацию навыков, представляет собой один из главных путей повышения надежности выполнения упражнений. Конечно, не всегда и не во всем стабильность хороша и даже допустима. Излишняя стабилизация действия (как говорят, «жесткость» навыка) снижает его надежность. Но, например, в гимнастических упражнениях, в прыжках в воду и на батуте, в метаниях нужна высокая стабилизация деталей действий (в нормальной ситуации); вариативность навыка целесообразна главным образом в изменчивой двигательной ситуации, а также для компенсации допущенных двигательных ошибок.

Другие факторы надежности выполнения упражнений. Помимо стабильности выполнения действий важны и другие факторы. Вот основные из них.

1. *Функциональная избыточность* необходима для того, чтобы компенсировать неизбежные при выполнении упражнений двигательные ошибки и неизбежно возникающие, не зависящие от спортсмена двигательные осложнения. Функциональная избыточность поддается интенсивному развитию целенаправленной тренировки.

2. *Дублирование действий* в ряде случаев дает возможность существенно повысить их надежность или надежность двигательной деятельности, особенно если требуется добиться высокой надежности системы, включающей в себя недостаточно надежные элементы. Например, неудавшийся прием может привести борца к поражению, но может и не доставить сколько-нибудь существенных неприятностей, если, предвидя такую неудачу, он подготовит другой прием или нормализующее положение действие и перейдет к его выполнению, едва заметив, что основной прием не удался.

3. *Эффективность работы системы обратной связи* позволяет выполнять намеченные действия в соответствии с программой и тем самым повышает надежность выполнения упражнения. Здесь особо следует отметить три компонента: адекватную афферентацию обратной связи, рациональную афферентную программу, хорошо организованную систему сличения и мобилизации метапрограмм.

III. ОСНОВЫ МЕТОДИКИ КАЧЕСТВЕННОГО БИОМЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

III.1. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОШИБОК

III.1.1. Двигательные ошибки в спорте (их место и причины)

Преодоление ошибок — одна из важнейших задач спортивной тренировки, самая сложная задача технической подготовки. Успешной борьбой с ошибками можно уменьшить вероятность их появления и среднюю величину (степень).

Тут следует заметить, что понятие «двигательная ошибка» динамично: то, что для мастера грубая ошибка, для новичка подчас мелкая, а то, что для мастера мелкая, для новичка вообще не ошибка. Поэтому, избавившись как будто от ошибки, спортсмен по мере повышения уровня мастерства вновь встречается с необходимостью преодолеть ее в менее выраженных проявлениях в соответствии с возросшими требованиями к качеству выполнения двигательных действий.

Каково происхождение двигательных ошибок? Это нужно знать, чтобы успешно с ними бороться. Прежде всего следует сказать, что рассматривать данный вопрос можно только в самом общем плане, поскольку для каждого вида спорта характерны свои двигательные ошибки, со своей спецификой.

Двигательная неточность — неотъемлемый компонент двигательной деятельности, любого движения, любого мышечного напряжения. Вопрос в том, как велики и насколько значимы для развития действия эти неточности. Они должны достигать какой-то существенной величины, чтобы можно было их заметить, отметить нежелательное

отклонение результата действия от запрограммированного и таким образом констатировать наличие двигательной ошибки. В противном случае, если нет видимого ухудшения результата действия или упражнения в целом (либо перерасхода энергии), говорят о равноправном варианте техники, реализованном спортсменом.

Таким образом, двигательными ошибками следует называть лишь такие двигательные неточности, которые влекут за собой ощутимое ухудшение двигательной деятельности. Тут снова надо вспомнить, что по мере повышения мастерства спортсмена критерии качества выполнения упражнений и действий в подавляющем большинстве случаев растут, так что в ранг существенных производятся все менее заметные двигательные неточности. Этим, в частности, объясняется тот факт, что спортсмен, совершенствуясь, все вновь и вновь обращается к ранее хорошо, казалось бы, освоенным действиям и находит, над чем работать, добиваясь безошибочной (условно говоря) реализации техники упражнения.

В основе происхождения двигательной неточности лежит несколько факторов.

1. Колебания напряжения вокруг выбранного его значения (тремор мышц), которые можно уменьшить тренировкой, но которых нельзя избежать, уже обеспечивают какую-то двигательную неточность.

2. Неточно выбранные средние значения напряжения мышц, что может объясняться хотя бы тем обстоятельством, что физиологическое состояние нервной и мышечной систем непостоянно, оно все время в какой-то мере изменяется, так что одна и та же кодовая программа (см. I.1) вызывает каждый раз несколько различающиеся между собой напряжения. Эта неточность улавливается проприорецепторами, и в напряжения вносятся коррекции. Но на это необходимо время, хотя и очень небольшое, и поэтому в течение какого-то времени напряжение будет неверным.

3. В результате неточностей в напряжении мышц движения совершаются в несколько иных, чем было запрограммировано, направлениях и с несколько иным ускорением (а отсюда и скоростью) — налицо кинематические неточности.

4. Аппараты оценки отклонений (двигательных неточностей) неизбежно функционируют с какими-то погрешностями. Аппараты определения и реализации необходимых коррекций тоже ведь обеспечивают лишь конечную точность. Так что и эти факторы вносят свою лепту в формирование двигательных неточностей.

На двигательные ошибки — это не только значимые различия. Спортсмен может просто недостаточно хорошо видеть, как строится то или иное двигательное или двигательное действие, что бывает результатом заблуждений в понимании техники упражнения и техники его выполнения, результатом неспособности (тем более в условиях ограниченного времени) найти целесообразный вариант техники упражнения для создавшихся особых (отличающихся от привычных) условий его выполнения, результатом неумения обеспечить правильное выполнение упражнения из-за недостаточного двигательного потенциала, в том числе и в связи с утомлением.

Двигательным ошибкам часто свойственна «многоэтажность»: одна влечет за собой другую, создавая причинную цепь, нередко разветвленную. Например, ошибка в динамике, т. е. в напряжении мышц и во взаимодействии с другими телами, может вызвать кинематическую (в скорости, ускорении), геометрическую (в позе, размахе движения), ритмическую ошибки либо другую динамическую ошибку, например в связи с инерционностью процесса расслабления мышц. Эти «производные» ошибки, в свою очередь, могут послужить причиной различных ошибок любого из перечисленных типов.

В зависимости двигательной ошибки какого-нибудь одного типа от ошибок всех других типов говорить можно только в отдельных случаях или весьма условно, поскольку все определяющие ее факторы теснейшим образом увязаны: напряженности мышц и динамическое взаимодействие с другими телами зависят от позы, от скорости движений, от их ритма и ритма напряжений; ускорения и скорости движений зависят от напряжений мышц и динамических взаимодействий с другими телами, от позы (плечо силы тяги мышц — рычаг переменной длины, зависящая от взаиморасположения составляющих звеньев в суставе), ритма движения и напряжений мышц. Ритм и геометрия движений еще более явно зависят друг от друга, от кинематики и динамики действий.

«Многоэтажность» (причинная иерархия) двигательных ошибок — одна из главных трудностей при их анализе с целью устранения. Ведь в глаза часто бросаются довольно далекие последствия той ошибки, которая лежит в основе причинной цепи — далекие и по содержанию и даже по пространственной локализации. Можно проиллюстрировать это характерным примером из спортивной гимнастики. Разведение ног при выполнении маха

дугой с поворотом обычно является следствием неправильного взаимодействия рук с грифом перекладины — «закручивание» тела вокруг его продольной оси недостаточно или вообще отсутствует.

Некоторые общие положения анализа двигательных ошибок целесообразно классифицировать: ведь классификация — это уже определенная степень анализа.

III.1.2. Классификация двигательных ошибок

Двигательные ошибки можно классифицировать в соответствии с различными критериями, по различным признакам.

1. Критерием классификации, иллюстрируемой схемой 11 (схемой-«деревом»), является принципиальная роль, которую играют двигательные ошибки при выполнении упражнений.

Техническими двигательными ошибками целесообразно называть такие, которые существенно и непосредственно связаны с техникой выполнения упражнения (II. 4), т. е. *энергетически значимые* и *координационно значимые* ошибки. Эти две ветви включают в себя 1) ошибки энергообеспечения — такие, которые влекут за собой недостаточность силового, скоростного, собственно энергетического обеспечения нормального запроса упражнения; 2) ошибки энерготрат — такие, которые влекут за собой повышение или «незаконное» (идущее вразрез с канонами вида спорта; например, значительное сгибание ног при выполнении сальто прогнувшись) понижение силового, скоростного или энергетического запроса упражнения; 3) ошибки локализации усилий в звеньях биодинамических цепей; 4) ошибки в создании и утилизации реактивных сил и моментов в биодинамических цепях; 5) ошибки восстановления энергетических ресурсов организма (что требует расслабления мышц, свободного дыхания и др.); 6) точностные ошибки — такие, которые определяют отклонения точностного характера в движениях и действиях, где точность важна: ошибки направления движения, его размаха, дозирования усилий, ошибки в точностных элементах позы; 7) ошибки сочетания движений и действий (включая мышечные напряжения) в пространстве; 8) ошибки сочетания движений и действий (включая мышечные напряжения) во времени; 9) ошибки организации опорных взаимодействий (обес-

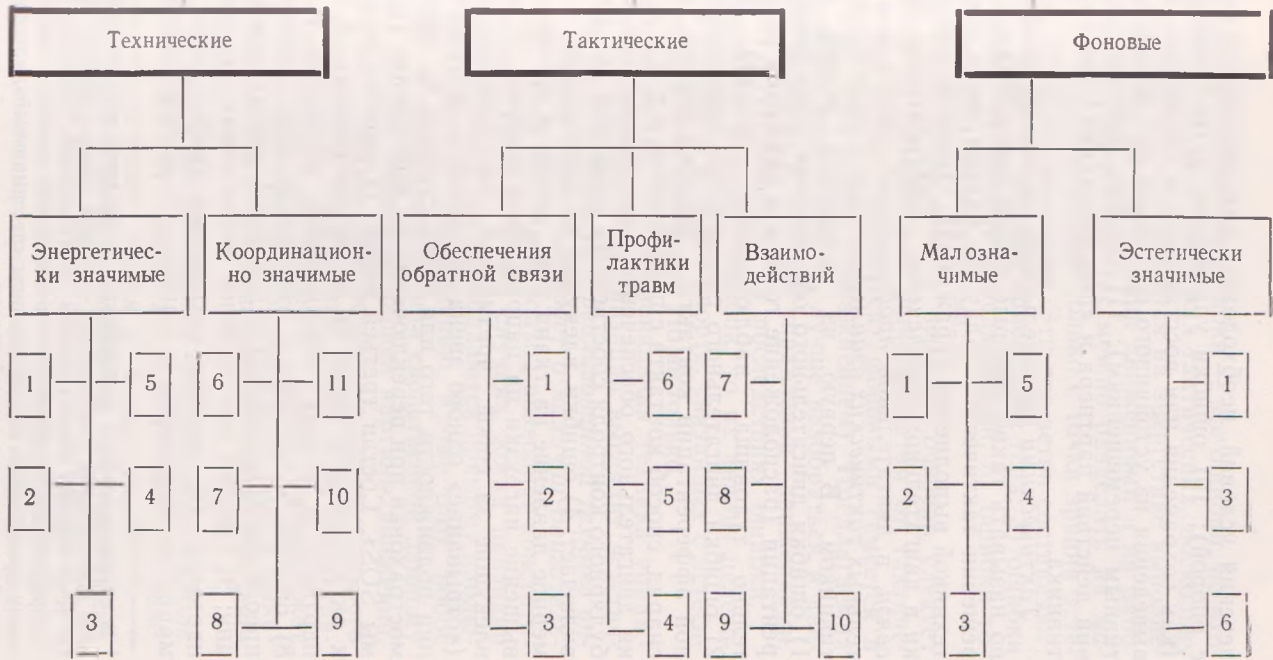


Рис. 11. Классификация ошибок по их принципиальному обобщению (содержание пронумерованных блоков показано в тексте)

печения условий, необходимых для уверенного контакта с опорой); 10) ошибки управления устойчивостью тела (как сохранения или восстановления устойчивости, так и выведения из устойчивого состояния для перехода к активным перемещениям); 11) ошибки оптимизации условий действий партнера и «пессимизации»¹ действий противника.

Тактическими двигательными ошибками целесообразно называть такие, которые существенно отражаются на решении тактических задач, не будучи тесно связаны с техникой выполнения упражнений. Имеются в виду ошибки в двигательном *обеспечении афферентации обратной связи*, в двигательной *профилактике травм* и в двигательных *тактических взаимодействиях* с партнером и противником. В первую из названных ветвей входят: 1) ошибки двигательного обеспечения зрительной афферентации (расположение головы и движения ею относительно туловища, наблюдаемого объекта, Земли); 2) ошибки двигательного обеспечения проприорецептивной афферентации контакта с другими телами (хват на снаряд, способ контакта с противником и т. п.); 3) ошибки двигательного обеспечения кинестезического и вестибулярного контроля собственных движений. Вторая ветвь включает: 4) ошибки, влекущие за собой удары или чрезмерное давление на ткани тела, резкое и чрезмерное повышение нагрузки на напряженные мышцы; 5) ошибки, влекущие за собой чрезмерное растягивание суставов («отрывание» одного звена от другого), нарушение границ подвижности того или иного сустава; 6) ошибки самостраховки при переключении на выполнение «программы SOS». Состав третьей ветви: 7) ошибки подготовки к активным действиям (к атаке противника, к помощи партнеру, к приему неожиданной передачи и т. д.); 8) ошибки подготовки к отражению атак противника, к преодолению внезапных осложнений двигательной ситуации; 9) ошибки двигательной информации, передаваемой партнеру; 10) ошибки сохранения двигательной информации от противника и ошибки его дезинформации.

¹ В спорте поставить противника в наихудшие условия осуществления двигательной деятельности — задача первостепенной важности. Но если термины «оптимальный», «оптимизация» привились в спорте, то признанных терминов противоположного значения пока нет. Поэтому предлагается ввести термины «пессимальный», «пессимизация» для обозначения указанной задачи.

Фоновые двигательные ошибки — все ошибки, не входящие в число технических или тактических, поскольку они существенно не сказываются на энергетике выполнения упражнений, на управлении движениями и на работоспособности спортсмена. Их можно разделить на *малозначимые* и существенные только с точки зрения эстетики — *эстетически значимые*. Эти две ветви составляют: 1) ошибки позы; 2) ошибки ориентации тела; 3) ошибки темпа движений; 4) ошибки передвижений; 5) ошибки тонуса мышц; 6) ошибки ритма.

В процессе тренировки в первую очередь следует избавляться от технических ошибок, затем от тактических и лишь потом заниматься фоновыми (имеется в виду работа над одним упражнением). Предлагаемая классификация может помочь лучше разобраться в двигательных ошибках с позиций управления движениями. Она акцентирует внимание на последствиях ошибки.

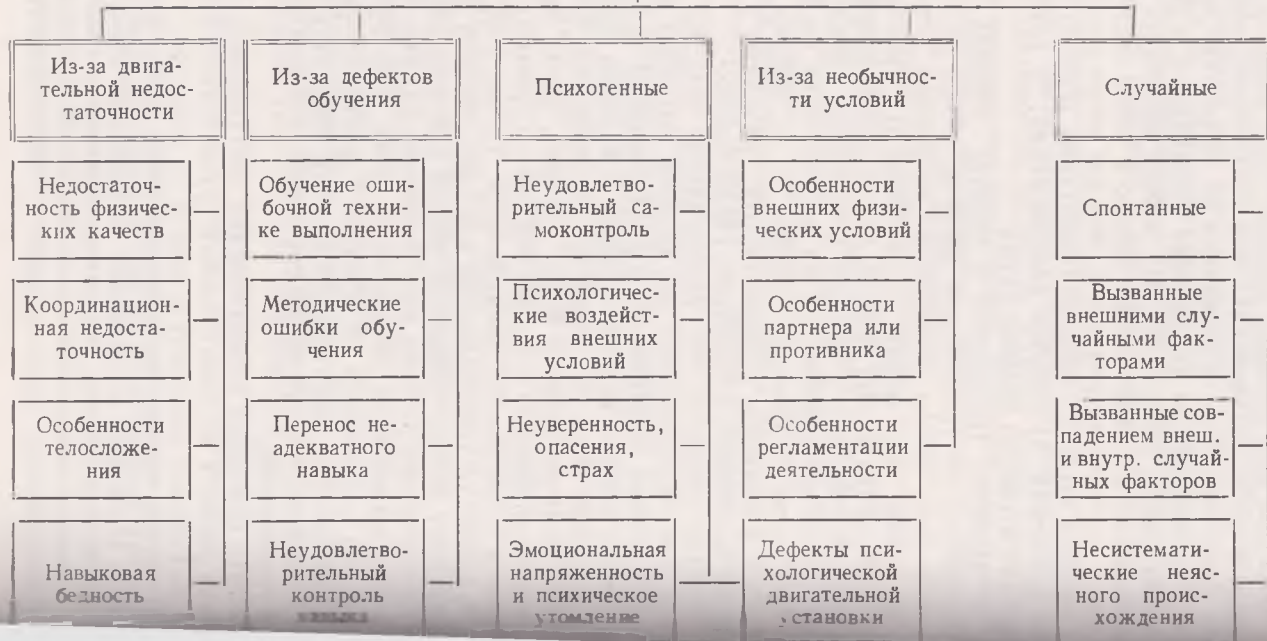
Что касается фоновых ошибок, то их анализ целесообразен в основном в видах спорта, связанных с эстетическим восприятием движений. Но не только.

Нельзя забывать, что рациональная техника упражнения при ее правильной реализации выглядит эстетично. *Отсутствие эстетичности в реализованной технике упражнения обычно свидетельствует о наличии двигательных ошибок*. Иной раз такой подход позволяет констатировать наличие ошибки в тех случаях, когда признаки ее «замаскированы» и трудно поддаются прямому наблюдению и даже просто обнаружению. Кроме того, любое отступление от общепринятой или свойственной данному спортсмену формы движений, общей картины движений, их ритмического рисунка дает основание для тщательного анализа выполнения упражнения, даже если эффективность его сохранилась на обычном уровне: здесь может таиться зачаток двигательной ошибки либо путь к выявлению неизвестных резервов совершенствования выполнения упражнения.

По причинам возникновения двигательные ошибки можно разбить на пять главных групп (схема 12), каждая из которых включает в себя 3—5 подгрупп.

В группу ошибок *из-за двигательной недостаточности* входят: 1) ошибки из-за недостаточности развития физических качеств: силы, быстроты, гибкости, выносливости (их общих и локальных проявлений); 2) ошибки из-за функциональной недостаточности, неспособности легко

Двигательные ошибки



преодолеть трудности сочетания в данном упражнении движений и мышечных напряжений (сюда же несколько условно можно отнести трудности точностного характера); 3) ошибки, связанные с особенностями телосложения спортсмена; 4) ошибки, возникшие из-за навыковой бедности — имеется в виду как недостаточный общий багаж двигательных навыков, так и недостаточный багаж навыков, близких к осваиваемому (подразумевается и неудовлетворительное владение рядом этих навыков, и отсутствие их у данного спортсмена).

Группа ошибок *из-за дефектов обучения* делится тоже на четыре подгруппы: 5) ошибки, являющиеся результатом обучения неправильной технике выполнения упражнения (неверные представления о технике упражнения, освоение неверных способов ее реализации, то и другое вместе); 6) ошибки из-за дефектов и просчетов методики обучения, в том числе из-за пренебрежения дидактическими принципами, из-за плохого материально-технического оснащения тренировочных занятий, из-за подбора «нестандартных» партнеров и противников и т. п.; 7) ошибки, вызванные нежелательным переносом ранее выработанного навыка; 8) ошибки, закрадывающиеся в ранее хорошо освоенные навыки из-за неудовлетворительного контроля над выполнением упражнения (мало внимания или неумение контролировать).

Группа *психогенных* ошибок: 9) ошибки из-за неудовлетворительного самоконтроля за выполнением упражнения; 10) ошибки из-за специфики психологических условий выполнения упражнения (особенности соревновательной ситуации, неожиданный сильный внешний раздражитель, какие-то особенности поведения тренера и т. д.); 11) ошибки, вызванные неуверенностью в себе или в партнере, опасениями неудачи выполнения упражнения или действия (в том числе влекущей за собой атаку противника или травму), чувством страха (из-за опасности падения, травмы, неудачи при выполнении ответственного действия); 12) ошибки, связанные с эмоциональной напряженностью или психическим утомлением; 13) ошибки, возникающие в результате неверной, в чем-то переоцененной психологической либо двигательной установки.

Группа ошибок *из-за необычности условий*: 14) ошибки из-за особенностей внешних условий двигательной деятельности (плохая освещенность, духота, ветер, оттепель

на лыжне, неисправность костюма, плохая магнезия, нестандартные снаряды и др.); 15) ошибки, связанные с «неудобными» или неожиданными особенностями партнера или противника; 16) ошибки, вызванные особенностями регламентации деятельности (неудобное время соревнований, утомление из-за недостаточных интервалов между встречами или подходами, нехватка времени для разминки и опробования снаряда, чрезмерные интервалы между подходами и т. п.).

Группа случайных ошибок: 17) ошибки, не спровоцированные внешними факторами (спонтанные); 18) ошибки, вызванные случайными внешними факторами (какой-либо внезапный шум, случайно замеченное знакомое лицо и т. д.); 19) ошибки, вызванные совпадением внешних и внутренних случайных факторов, которые порознь не вызвали бы ошибки; 20) не объясненные ошибки.

Данная классификация призвана помочь отысканию причин ошибок и устранению этих причин. Конечно, реальные причинные связи обычно много сложнее, чем на схеме.

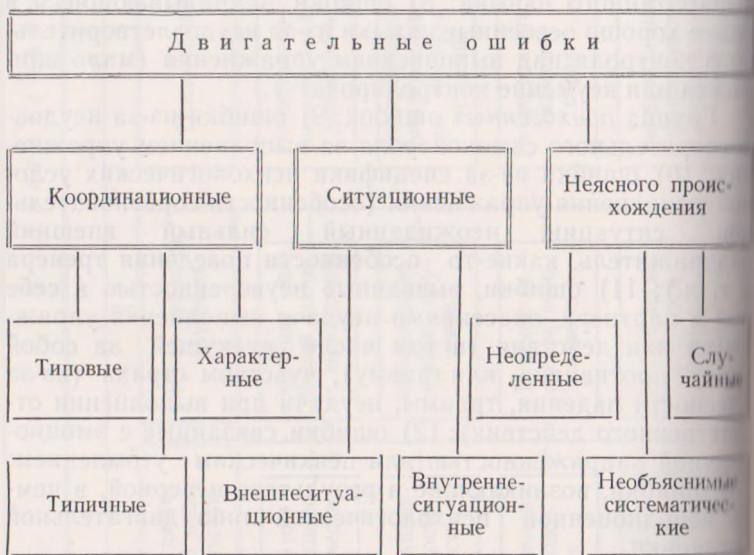


Схема 13. Классификация двигательных ошибок по причинам их возникновения (в педагогическом плане)

Того же типа классификация, но только акцентирующая внимание на делении ошибок в педагогическом плане, представлена на схеме 13. *Типовые ошибки* — это ошибки, связанные с типовыми, характерными для любой двигательной деятельности энергетическими и координационными трудностями. *Типичные ошибки* — часто возникающие, характерные для данного упражнения или действия. *Характерные ошибки* — часто возникающие у данного спортсмена в сходных двигательных ситуациях, характерные именно для него. *Внешнеситуационные ошибки* — появляющиеся в связи с особенностями внешних условий двигательной деятельности. *Внутреннеситуационные ошибки* — такие, причиной которых является необычность, особенность состояния спортсмена (эмоциональное состояние, утомление, несобранность и т. д.). *Неопределенные ошибки* — те, которые обнаружены, но не поддаются распознаванию. *Необъясненные систематические ошибки* — распознанные ошибки, причины которых пока не поддаются выявлению. *Случайные ошибки* — появляющиеся редко, бессистемно и по непонятным или случайным причинам.

3. Принципиальное значение имеет классификация двигательных ошибок по их причинно-следственным связям, потому что при анализе реализованной техники упражнения необходимо находить самые «глубокие» ошибки, являющиеся причиной тех, что «лежат на поверхности» и легко заметны. Нужно путем анализа продвигаться по причинной цепи к ее началу, к *ошибке-основанию*, а найдя ее, последовательно избавляться сначала от нее, затем, продвигаясь снова по причинной цепи, но только в обратном направлении, — от производных ошибок всех порядков, кончая ошибкой эффекта. Причинно-следственную связь ошибок иллюстрирует схема 14.

При этом надо иметь в виду, что установление действительных причин двигательной ошибки нередко представляет собой сложную задачу. Причинно-следственная цепь ошибок бывает многозвенной, подлинные причины ошибки иной раз замаскированы какими-то их следствиями, т. е. производными от них ошибками. Между тем ошибка в определении ошибки-основания (первичной ошибки) логически влечет за собой применение неэффективной методики преодоления обнаруженной ошибки (обычно ошибки эффекта). Иной раз это может привести к ее закреплению или даже усугублению.



Схема 14. Разветвленная причинно-следственная цепь ошибок (объяснения в тексте)



Схема 15. Причинная цепь ошибок (объяснения в тексте)

На схеме 14 основная линия причинной цепи (наиболее простой, неразветвленный вариант) показана жирным контуром, возможная вторая (побочная) линия — двойным контуром, также возможная третья линия — тонким сплошным контуром, четвертая линия — частым пунктиром. Возможные ветви показаны с таким же последовательным понижением «ранга» контура. Иногда ошибка эффекта может повлечь за собой еще одну (вторичную) ошибку эффекта — это отражено во всех линиях (то, что это лишь возможность, показано понижением «ранга» контура; пятый по «рангу»

структур дан редким пунктиром. Показаны лишь две промежуточные ступени (производные первого и второго порядка — I и II п.). В случае, если «состоялась» вторичная ошибка эффекта (т. е. одна ошибка эффекта «произвела» еще одну ошибку эффекта), то первая из них (первичная) в то же время является производной ошибкой третьего порядка (III п.), вторичная — производной IV порядка (IV п.).

Следует отметить еще одну особенность причинно-следственных цепей ошибок: иногда промежуточная ошибка является следствием не только основной ошибки-причины (первичной ошибки), но и в какой-то мере совсем другой, не относящейся к данной причинно-следственной цепи. Получается как бы сложная ошибка (схема 15), состоящая из двух: производной от первичной и «наведенной» части (как бывают наводки в одной электрической цепи от другой, расположенной поблизости). Такая «наведенная» ошибка или часть ошибки входит в состав причинно-следственной цепи ошибок, и производные ошибки формируются с ее участием. Наведенная ошибка проявляется заметно лишь на фоне рассматриваемой ошибки эффекта (Э).

Анализ причинно-следственных цепей двигательных ошибок занимает важное место в качественном биомеханическом анализе упражнений.

4. На схеме 16 показано «дерево» классификации двигательных ошибок по степени вероятности их появления (с дальнейшей причинной расшифровкой). Эта классификация очень существенна в спортивной практике при тактических построениях и прогнозах.

Несколько иной характер носит другая, совсем простая, классификация, также отражающая ожидание ошибки: двигательные ошибки делятся на *систематические* (постоянно проявляющиеся), *периодические* (периодически проявляющиеся, т. е. регулярно, но далеко не всегда) и *одиночные* (редкие, нерегулярные и потому почти не ожидаемые).

5. Для контроля и самоконтроля за двигательной деятельностью далеко не безразлична степень осознаваемости двигательных ошибок. Не безразлична она и для работы над их исправлением. Одна из возможных классификаций по этому признаку дана на схеме 17.

6. Коррекция, компенсация, преодоление ошибок — важнейшие задачи, решению которых также могут в какой-то мере помочь совсем простые классификации: они облегчают, например, передачу знаний в этом вопросе.

обмен опытом, планирование подготовки, оценку целесообразности включения в программу того или иного упражнения и т. д. Во многих случаях качественного анализа могут оказаться полезными совсем простые, естественные деления ошибок на группы:

- по степени возможной компенсации: компенсируемые, частично компенсируемые, некомпенсируемые;
- по коррективности: корректируемые, частично корректируемые, некорректируемые;
- по «стойкости»: спонтанно исчезающие, нестойкие, стойкие.



Схема 16. Классификация двигательных ошибок по степени вероятности появления:

1 — физическая подготовленность, 2 — техническая подготовленность, 3 — тактико-психическая подготовленность, 4 — физическое состояние, 5 — психическое состояние, 6 — «настройка», готовность, 7 — особенности партнера, противника, 8 — внешние физические условия, 9 — регламент соревнований или тренировочных занятий

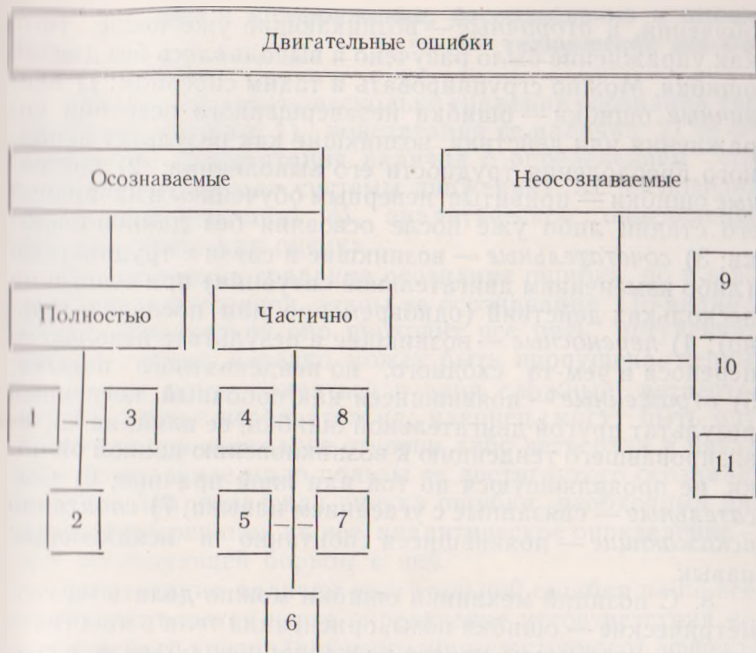


Схема 17. Классификация двигательных ошибок по степени их осознаваемости:

1 — непосредственно самонаблюдаемые спортсменом; 2 — косвенно определяемые; 3 — непосредственно самонаблюдаемые спортсменом и косвенно определяемые; 4 — обнаруживаемые; 5 — понимаемые, самонаблюдаемые и определяемые не полностью; 6 — полностью понимаемые и определяемые, но самонаблюдаемые; 7 — полностью самонаблюдаемые и определяемые, но не полностью понимаемые; 8 — не полностью понимаемые и определяемые; 9 — в связи с неумением анализировать; 10 — из-за сложности ситуации; 11 — из-за невнимательности

Конечно, понятие «компенсативность» в достаточной мере условно: ни одну двигательную ошибку полностью компенсировать нельзя (в данном действии), так что имеется в виду возможность лишь в основном ее компенсировать. Говоря о спонтанно исчезающих ошибках, следует иметь в виду такие, которые ликвидируются в процессе повторения упражнения без специальных методических усилий.

7. Ошибки формируются по-разному: внезапно; постепенно внедряясь в исполнение и формируясь; периодически возникая и исчезая, но с тенденцией к углублению и закреплению. По характеру появления ошибки можно делить на *первичные* — возникающие с самого начала при

обучении, и *вторичные* — возникающие уже после того, как упражнение было разучено и выполнялось без данной ошибки. Можно сгруппировать и таким способом: 1) *первичные* ошибки — ошибки незавершенного освоения упражнения или действия, возникшие как результат неполного преодоления трудности его выполнения; 2) *внесенные* ошибки — привитые неверным обучением в начальной его стадии либо уже после освоения без данной ошибки; 3) *сочетательные* — возникшие в связи с трудностями (либо изменением двигательной ситуации) при сочетании нескольких действий (одновременно или последовательно); 4) *переносные* — возникшие в результате невольного переноса в чем-то сходного, но неадекватного навыка; 5) *отраженные* — появившиеся как побочный, косвенный результат другой двигательной ошибки, ее влияния, активизировавшего тенденцию к возникновению данной ошибки, не проявлявшуюся по той или иной причине; 6) *угасательные* — связанные с угасанием навыка; 7) *спонтанно искажающие* — появившиеся спонтанно и искажающие навык.

8. С позиций механики ошибки можно делить на геометрические — ошибки позы, ориентации тела в пространстве и относительно какого-то выбранного объекта, в геометрической форме движений; кинематические — ошибки в траекториях и направлениях движений, в их скоростях и ускорениях; ритмические — ошибки в сочетании движений, действий, пауз во времени; динамические — ошибки в характере, локализации и величине мышечных напряжений, в образовании моментов сил, в формировании статических моментов и моментов инерции. Ошибки, входящие в первые три группы, непосредственно наблюдаемы и со стороны, и самим спортсменом; входящие в четвертую группу — непосредственно наблюдаемы только самим спортсменом, со стороны же могут быть замечены и оценены только путем умозаключений, опирающихся на наблюдение видимых результатов-следствий этих ошибок, т. е. производных ошибок.

9. По значимости двигательные технические ошибки удобно классифицировать с использованием шести градаций: разрушающие (действие или упражнение оказывается из-за такой ошибки невыполненным), грубые, значительные, существенные, мелкие, несущественные,

III.1.3. Обнаружение, распознавание и оценка технических ошибок

Следует различать несколько градаций осознания двигательной ошибки: 1) констатация ее наличия, 2) ее обнаружение (констатация наличия с определением «поврежденного места» системы движений), 3) распознавание (идентификация), 4) аналитическое определение, 5) аналитическая оценка.

Это не только градация осознания ошибки, но и в известном роде ступени, этапы ее осознания. По-видимому, не обязательно оно проходит все пять «ступеней»: первая ступень нередко может быть пропущена, первые два этапа могут сливаться в один сложный; четвертая ступень также необязательна; наконец, могут быть опущены все три последние ступени либо четвертая и пятая, но в этом случае мало пользы от достигнутого осознания ошибки. Аналитическая оценка ошибки необходима для адекватной реакции на нее, аналитическое определение — для последующей борьбы с ней.

Констатация наличия двигательной ошибки чаще всего осуществляется через определение несоответствия конечного (или контролируемого промежуточного) эффекта выполняемых действий двигательной программе. Однако в тех упражнениях, где имеет место взаимодействие с партнером или противником, подобная констатация не всегда возможна без более или менее тщательного анализа этого взаимодействия. В таких случаях приходится принимать интуитивное решение, если нет других признаков допущенной ошибки.

Если спортсмен обычно выполняет данное упражнение или действие без рассматриваемой ошибки, то когда она крадывается, он замечает это по изменениям в привычных двигательных ощущениях. Простейший анализ этих изменений обычно позволяет в общих чертах определить характер ошибки и локализацию ее в упражнении или в двигательном аппарате.

Следующий этап — распознавание ошибки, ее идентификация: как бы узнавание ее, определение ее соответствия всем признакам той или иной ошибки, выяснение того, что это и есть «та самая» ошибка. Данный этап очень важен, поскольку имеется немало сходных по ряду заметных признаков, но принципиально различных (как по причинам, так и по следствиям) ошибок. Приняв одну ошибку

за другую, спортсмен или тренер может попасть в своего рода методический тупик, безуспешно пытаясь выправить как будто «опознанную» ошибку неадекватными средствами и методическими приемами. Иной раз при этом действительная ошибка даже усугубляется, в некоторых случаях ее наиболее заметные проявления маскируются, что затрудняет ее обнаружение. Можно вызвать и новую ошибку.

Тренер, разумеется, не может сразу обнаружить и распознать ошибку по изменению привычных двигательных ощущений спортсмена (хотя может сделать это несколько позже, расспросив его о них). Но он видит результат действия, наблюдает его общую картину, те или иные характерные частности и на основании наблюдений может констатировать наличие ошибки, обнаружить и распознать ее.

Конечно, ожидая появления какой-то определенной ошибки, нетрудно, минуя первые две ступени, сразу распознать ее. Тренеру сделать это легче, спортсмену труднее. Иной раз, если ошибка очень заметная, такой «скачок» сразу на третью ступень осознания ошибки возможен и в том случае, когда ее не ждут.

Одну и ту же ли ошибку распознают спортсмен и тренер? Совсем не обязательно. Спортсмену легче заметить динамические ошибки, тренеру — кинематические (речь идет о тенденции, а не обо всех случаях). Варианты такого разногласия могут быть самые различные. Спортсмен и тренер могут заметить разные, не связанные между собой ошибки; ошибки, связанные причинной связью; ошибки, входящие в разные ветви причинно-следственной цепи. Если же ими опознана одна и та же ошибка, то и тут полное совпадение не обязательно: они могут увидеть разные стороны ошибки, по-разному оценить ее. Поэтому полезен обмен мнениями между спортсменом и тренером относительно допущенной ошибки, их наблюдения часто дополняют одно другое.

Аналитическая оценка ошибки состоит в установлении ее примерной величины (мелкая, грубая и т. п.), значения для выполнения действия или упражнения, размера и направления отклонения движений или усилий от запрограммированных, возможности и сложности компенсации или коррекции. Обычно следует стремиться к максимальной объективизации оценки. Иногда же целесообразно субъективно преломлять ее объективное содержание —

когда это помогает (в связи с субъективностью афферентной программы) внести коррективы в ход выполнения действий или упражнения. Следует иметь в виду, что оценка значения ошибки или выполнения действия или упражнения, как и оценка возможности коррекции и компенсации, должна зависеть не только от самой ошибки, но и в большой степени от индивидуальных двигательных возможностей спортсмена, от условий поставленной двигательной задачи, от условий, в которых выполняется действие.

Оценка *величины* ошибки позволяет очень приблизительно, но оперативно взвесить ее значение, выбрать средства коррекции и компенсации, сравнить качество разных попыток выполнения данного действия, что очень важно для контроля за ликвидацией ошибки в процессе тренировки и соревнований. Оценка *значения* ошибки для выполнения действия существенна при определении того, какое внимание уделять ее исправлению.

Оценка *размера и направления отклонения движений и усилий* от запрограммированных необходима для их компенсации или коррекции, а также для аналитического определения ошибки. Оценка же возможности, сложности и, следовательно, определение общего характера коррекции или компенсации ошибки обязательно должна предвещать эти «спасательные» действия.

Существенно различаются между собой задачи оперативной, *текущей* оценки ошибки и оценки, *отставленной во времени*. Первая нужна для немедленной реакции, в частности для оценки возникшей двигательной ситуации; вторая — для «лечения» ошибки, для принятия необходимых мер по ее компенсации в последующих попытках выполнения этого же действия, для оценки общей двигательной ситуации, возникающей в результате выполнения данного действия с такой ошибкой. Текущая оценка ошибки в основном интуитивна, она опирается на накопленный опыт анализа двигательных ошибок, особенно сходных с данной, но из-за недостатка времени не основана на точном знании, на анализе. Отставленная же оценка должна быть основана на аналитическом определении ошибки, хотя обычно (из-за незнания всех факторов и за отсутствием точных характеристик известных факторов) в отставленной оценке ошибки более или менее значительное место занимают и интуитивные компоненты.

Тренеру аналитическая оценка двигательных ошибок ученика необходима и для того, чтобы лучше учить не только данного, но и других своих подопечных.

III.1.4. Преодоление ошибок

Процесс преодоления ошибок включает в себя несколько различных по существу операций, самостоятельных или взаимосвязанных.

1. *Текущие коррекции* (движений и мышечных напряжений) с целью локализации и ограничения величины ошибки, распознанной спортсменом уже в ее начальной стадии, должны производиться мгновенно. Следовательно, двигательное содержание их должно быть заранее известно спортсмену и даже отработано. В противном случае трудно ждать хорошего эффекта: полная импровизация (к тому же мгновенная) — вещь ненадежная. Спортсмен должен владеть своего рода двигательными «штампами» и «заготовками»¹ и пускать их в ход сразу же по распознаванию ошибки. *Чтобы это могло быть сделано своевременно, нужно включить пусковые сигналы «заготовок» в двигательные метапрограммы (II.1).* Конечно, на все возможные ошибки «штампов»-коррекций не напасешься, поэтому иногда без импровизации не обойтись, но успешной она может быть только в том случае, если основана все же на опыте разрешения в чем-то существенно сходных двигательных ситуаций.

Текущие коррекции представляют собой, образно выражаясь, что-то вроде заплат на ткани двигательной структуры. Чем раньше замечена и идентифицирована ошибка, тем меньше должна быть «заплата». Вообще ставить ее целесообразно на еще достаточно прочную ткань. Если же ткань уже расползается, заплаты бесполезны: опоздание с идентификацией ошибки делает бесполезными попытки облегчить дело коррекциями движе-

¹ «Штампами» (по аналогии с употреблением этого слова К. С. Станиславским) здесь называются стандартизованные конкретные аналитические или двигательные решения, применяемые каждый раз в определенных ситуациях как нечто цельное, как монолитный блок, структура которого не подвергается проверке или изменениям. «Штампы» используются, образно говоря, как готовые узлы машины при ее сборке. «Заготовки» — заранее продуманные для рассматриваемого случая аналитические или двигательные фрагменты, ходы, решения и т. д.

ний и напряжений. Именно поэтому текущие коррекции применимы в очень кратковременных действиях.

2. *Предупреждающие коррекции* (движений и мышечных напряжений) могут значительно повысить надежность выполнения упражнения или действия. Продолжая печатную аналогию, можно сказать, что незачем ждать, пока ткань порвется, дабы только после этого наложить заплату. Если знаешь, где она должна прорваться, имеет смысл заранее укрепить данное место то ли вторым слоем ткани, то ли дополнительными швами. Именно таково назначение предупреждающих коррекций: система движений подвергается некоторой перестройке, чтобы *предупредить возникновение* двигательной ошибки, снизить ее вероятность. Предупреждающие коррекции в той или иной степени снижают качество выполнения упражнения или действия, в противном случае они были бы составной частью его нормализованной техники. Но с этим приходится мириться, если вероятность ошибки достаточно велика, а вредные последствия предварительных коррекций малосущественны или, во всяком случае, в данной ситуации приемлемы.

3. *Компенсаторные действия* (компенсация ошибок) могут применяться не только после двигательной ошибки, иногда их можно и полезно выполнять в момент ее совершения и даже предварительно (когда заранее известно, что данная ошибка будет иметь место). Задача компенсаторных действий состоит в том, чтобы изменением структуры других действий или другой части данного действия по возможности снизить отрицательный эффект ошибки. Компенсаторные действия сами по себе в той или иной мере снижают эффективность действия, так что они целесообразны только в том случае, если устраняемое ими снижение эффективности явно более существенно, чем вносимое. Чтобы определить данное соотношение, необходимо предварительно оценить ошибку. Поэтому предварительная (предупреждающая) компенсация предполагает предварительную оценку ожидаемой ошибки, текущая — также предварительную либо же очень оперативную текущую оценку, последующая — предварительную либо текущую, но еще лучше (если спортсмен успевает) — аналитическую (конечно, такая оценка носит качественный характер).

Компенсация двигательной ошибки обычно дается труднее, если выполняемые действия или упражнения

соединены цепной связью или совершаются одновременно. При этом чем сильнее и глубже связь, тем больше затруднение: удлиняются и разветвляются причинно-следственные связи ошибок, а потому и их причинные цепи. В результате приходится компенсировать не одну-две ошибки, а целую их систему, одновременно корректируя движения и мышечные напряжения с целью локализации и уменьшения величины ряда ошибок.

4. *Подавление* двигательной ошибки заключается в том, что спортсмен стремится свести ее к минимуму, используя свои резервные двигательные возможности. При этом он не устраняет причину ошибки или первичную ошибку-причину, поскольку не знает их либо не может за короткий срок их устранить. Подавление ошибки является, конечно, неполноценной мерой, но в ряде случаев достаточно эффективной и наиболее целесообразной.

5. *Ликвидация* ошибки предполагает прежде всего избавление от ошибки, лежащей в основе причинной цепи. Значит, начинать надо с анализа увиденных ошибок и их причинных цепей. Это можно сделать только с помощью аналитического определения замеченных ошибок и всех промежуточных на пути к первичной ошибке. Следует отметить, что ликвидация первичной ошибки еще не означает, что автоматически исчезнут все производные ошибки (хотя так тоже бывает). Ликвидация *остаточных* ошибок, рефлекторно закрепившихся и вошедших в привычку, порой дается с немалым трудом. Ведь в привычные двигательные ощущения, многократным закреплением объединенные в целостный комплекс, отраженные в афферентной программе и в оценочных критериях механизма сличения, входят и ощущения от ошибочных компонентов действия. Переделка этих информационных структур может оказаться непростой задачей.

Какое-то время могут «сосуществовать» вновь сформированная афферентная программа, соответствующая правильному выполнению действия, и достаточно яркие следы старой, связанной с ошибочным его выполнением. Из-за этого спортсмен нередко чередует по-новому правильное и по-старому неправильное выполнение действия, без видимых причин «вспоминая» старую ошибку, возвращаясь к ней в связи с утомлением или каким-нибудь усложнением двигательной ситуации. В таком случае большую помощь могут оказать идеомоторная тре-

нировка и непосредственная идеомоторная подготовка к выполнению действия, так как они позволяют укрепить, сделать стабильной, легко и без искажений извлекаемой из памяти новую афферентную программу.

III.2. КОНКРЕТНЫЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ КАЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА

III.2.1. Отправные данные качественного биомеханического анализа

Выбор методов и приемов, а также глубина и достоверность КБА во многом зависят от формы и содержания отправных данных. В большинстве случаев их приходится активно добывать, но иногда они «приходят» в готовом виде: литературные материалы, кинограммы или другие фото- и киноматериалы, собственные старые материалы. Отправные данные могут быть разных видов и иметь различные источники.

Для тренера главный источник — наблюдение, для спортсмена — самонаблюдение. Конечно, различие этих источников очень велико.

Самонаблюдение. К сожалению, не все спортсмены и тренеры придают самонаблюдению должное значение, не все ведут его активно и сознательно, продуманно и планомерно. Тем не менее оно всегда в тех или иных масштабах имеет место хотя бы как спонтанный, стихийно стимулируемый и осуществляемый процесс, продиктованный необходимостью либо случайными обстоятельствами. Таким образом, тренировка в самонаблюдении идет постоянно, так что с ростом спортивного стажа соответствующие умения совершенствуются.

Вряд ли можно сомневаться в том, что эффективность самонаблюдения значительно выше в тех случаях, когда оно представляет собой планомерный, целиком осмысленный и, главное, *целенаправленный* процесс, когда перед спортсменом ставятся долгосрочные задачи, вырабатывается адекватная задачам тактика и методика фиксации ощущений и восприятий.

Чтобы само наблюдение было в достаточной мере эффективным, спортсмен должен вполне определенно знать, *что именно наблюдать, как и зачем*. И чем точнее он знает это, тем точнее замечает и дифференцирует.

Каковы объекты самонаблюдения, что спортсмен мо-

жет контролировать? Главным можно считать следующее.

1. *Общий характер выполнения упражнения.* Имеется в виду оценка легкости выполнения упражнения, степени гармонической слитности его деталей, согласования частных действий, результативности. Сюда же относится оценка эстетичности выполнения (в тех видах спорта, где эта характеристика существенна).

2. *Общая форма системы (общий рисунок) движений, особенности пространственной и временной взаимосвязи внешних форм движений.* Форма движений в ряде видов спорта является определяющим фактором — это общеизвестно и не нуждается в комментариях. Поэтому следует заострить внимание на том, что *во всех без исключения физических упражнениях* форма отдельных движений является, во-первых, *отражением* развиваемых спортсменом усилий в сочетании с действием внешних сил, а во-вторых — *условием* той или иной эффективности развития и приложения мышечных усилий, как и использования (либо уменьшения вредного действия) внешних сил.

3. *Форма отдельных деталей движений.* Данные о ней нужны для тонкого анализа движений. Обычно удается сравнительно уверенно и точно проконтролировать форму не более чем 1—2 деталей движений. Попытка «глобального» контроля приводит обычно к тому, что как следует заметить ничего не удается.

4. *Ритм движений и частных действий.* В ряде случаев такой контроль лучше удается при использовании звуковой модели ритма (обычно мысленно воспроизводимой). Самоконтроль ритма движений и частных действий — это, по сути дела, дополнительный косвенный контроль за их динамикой, ритмической стороной процессов напряжения и расслабления основных работающих мышечных групп.

5. *Темп движений.* Самоконтроль темпа движений особенно важен при выполнении упражнений (или действий) циклического характера. Он требует специального навыка, специфического «чувства темпа», которое развивается направленной тренировкой. Говоря о темпе движений, следует иметь в виду и дыхательные движения.

6. *Точность движений.* Контроль за точностью движений и частных действий требует умения распределять внимание, особенно в тех случаях, когда одновре-

менно решаются и другие двигательные задачи. Осуществляется он как по результатам двигательного действия, так и по промежуточным ориентирам, в основном проприорецептивным.

7. *Динамика движений и действий.* Этот самоконтроль бывает довольно сложен, особенно в условиях соревнований, когда проприорецептивные оценки в той или иной мере искажаются в связи с эмоциональным напряжением. Компенсация и предупреждение искажений достигаются опытом самоконтроля именно в соответствующих ситуациях.

Наблюдение. И спортсмен, и тренер имеют огромные возможности получения отправных данных КБА путем наблюдений: спортсмен — над другими спортсменами, тренер, кроме того, и над тем спортсменом, чью технику выполнения нужно подвергнуть анализу.

Объекты при наблюдении в основном те же, что при самонаблюдении, кроме динамики движений и действий. Обычно наблюдение осуществлять легче, поскольку оно не требует распределения внимания между контролирующей и двигательной деятельностью, как это имеет место при самонаблюдении. Некоторым исключением являются наблюдения, осуществляемые одновременно со страховкой или оказанием помощи: приходится распределять внимание, и это, как правило, заметно сказывается на качестве наблюдения. Кроме того, со стороны можно совершенно одинаково наблюдать за выполнением анализируемых действий разными спортсменами, что позволяет непосредственно сравнивать однородную информацию, тогда как спортсмен вынужден сравнивать информацию *самонаблюдения* с информацией *наблюдения* за другими спортсменами, приходящей к нему в совсем другой форме (часто в другой модальности), что допускает лишь опосредствованное сравнение.

Наблюдения обычно достовернее самонаблюдений и по другой причине: их проводит тренер, человек опытный, тогда как возможности спортсмена (его знания, умения, навыки) значительно ниже. Не следует забывать, что хотя объекты наблюдения и самонаблюдения часто одинаковы, получаемая информация нередко различается по существу, по смысловому содержанию, и всегда — по форме. Поэтому наблюдение и самонаблюдение — взаимодополняющие процессы, составляющие в случае их удовлетворительной координации систему, благодаря

чему получаемая информация не просто суммируется: во многих случаях при сопоставлении появляется информация, не содержащаяся ни в наблюдениях, ни в самонаблюдениях, взятых порознь; возникают уверенность или сомнение в объективности полученной информации и выводов из нее, которых не было бы при использовании одного источника и которые порой совершенно необходимы для формирования правильных представлений.

Помимо перечисленных общих объектов наблюдения и самонаблюдения, следует назвать *ощущения при поддержке и помощи*: тренер может извлечь из них ценную косвенную информацию о выполнении спортсменом данных действий (как о динамике, так и о кинематике). Информация, которую получает тренер, осуществляя поддержку или помощь, ценна уже потому, что она отличается от визуальной информации по модальности: тренер получает ее от своих проприорецепторов и кожных рецепторов. Но не только в этом дело: главное в том, что это информация о динамике выполнения спортсменом данного действия, причем не о тех усилиях, которые он развивает, а об отклонениях от должных усилий. Иными словами, это прямая информация о том, как надо изменить систему усилий, чтобы выполнение действия было правильным. Наконец, очень важно, что тренер может получить представление о возможностях спортсмена в выполнении таких деталей действия, которые были ему недоступны из-за плохого выполнения других деталей, компенсируемого поддержкой или помощью.

Одна из серьезных задач наблюдения — получение информации об эволюции выполнения спортсменом рассматриваемого действия или упражнения, а также об изменениях в выполнении данного и других действий в связи с влиянием различных внешних и внутренних факторов. Конечно, это в большей или меньшей мере должно быть и объектом самонаблюдения.

Использование изображений двигательных действий. Изучение изображений двигательных действий, уступая во многом прямому за ними наблюдению, обладает рядом преимуществ (например, снимаются или существенно уменьшаются временные ограничения для сбора информации, появляется возможность прямого измерения ряда пространственных соотношений). Изображения двигательных действий можно классифицировать по их функциональным педагогическим свойствам (схема 18).



Схема 18. Классификационное «дерево» изображений двигательных действий:

1 — фотографии, 2 — слайды и диафильмы, 3 — стоп-кадры киноматериалов, 4 — кино- и контурограммы, 5 — циклограммы, 6, 18, 20 — хронограммы, 7 — «сырые» материалы киносъемки, 8 — видеозапись, 9 — простые кинокольцовки, 10 — разработанные кинокольцовки, 11 — простые кинофрагменты, 12 — разработанные учебные кинофрагменты и кинофильмы, 13 — схемы действий, 14 — зарисовки отдельных поз, 15 — зарисовки серии последовательных поз, 16 — модельные копии, 17 — копирующая демонстрация, 19 — схемы, 21 — рисунки отдельных поз, 22 — рисунки серии последовательных поз, 23 — модельная демонстрация, 24 — демонстрация действия с условиями, облегчающими его выполнение и анализ

Объективные изображения получают с помощью кино-, фото- или видеоаппаратуры. Для КБА могут быть использованы как съемки данного спортсмена во время выполнения им рассматриваемого упражнения, так и съемки других спортсменов и других упражнений, причем материал съемок может быть оформлен и обработан по-разному. Хронограммы составляют либо по материалам киносъемки (видеозаписи), либо с помощью секундомера с визуальным определением развития движений во времени. Неподвижные объективные изображения позволяют довольно точно воспроизвести картину зафик-

сированных моментов двигательного действия и его деталей, подвижные — его общую картину (в случае рапидной съемки или замедленного показа можно разглядеть действие подробнее и точнее).

Копирующие субъективные изображения могут в известной мере заменить объективные и применяются либо в связи с отсутствием последних, либо в целях экономии времени. *Конструируемые* изображения позволяют лучше анализировать *невыполнявшиеся* двигательные действия, *воображаемые* варианты техники упражнения и т. д. Поэтому такие изображения не могут быть заменены объективными. Конечно, конструируемые изображения можно оформить с помощью фото- или киноаппаратуры, но это не меняет их принципиальной сущности.

Опрос. Это очень информативное средство получения данных для анализа. С помощью опроса спортсмен или тренер пополняет свои собственные наблюдения и проверяет их. Следует, однако, заметить, что опрашиваемый очень часто — сознательно или подсознательно — старается передать не просто свои наблюдения «в чистом виде», а какую-то свою версию замеченного, что имеет и положительную и отрицательную стороны. Версия может быть удачной, отвечающей истине, и тогда все наблюдения будут точнее, тоньше, глубже. Но версия может оказаться ошибочной, и тогда наблюдения опрашиваемого нередко подсознательно деформируются, искажаются. Это легко может ввести в заблуждение опрашивающего, особенно когда его собственные наблюдения расплывчаты и неполны (либо если он себе не очень доверяет).

Варианты опроса: тренер спрашивает спортсмена, выполнявшего упражнение, о его ощущениях и впечатлениях; спортсмен спрашивает тренера о его наблюдениях и выводах; спортсмен или тренер опрашивает других спортсменов и тренеров о деталях, которые ему почему-либо не удалось разглядеть или прочувствовать; спортсмен или тренер опрашивает партнеров об их впечатлениях и ощущениях; спортсмен или тренер опрашивает противников.

Использование приборных данных. В КБА могут быть с успехом использованы данные проведенных ранее исследований: материалы измерений, обработанные результаты, выводы. Кроме того, некоторые приборы настолько просты и требуют для измерений такого незначительного

времени и внимания, что могут без ущерба для решения других задач тренировки применяться в ее процессе, а полученные данные — в анализе выполнения упражнений (измерения с помощью секундомера, рулетки, портативного акселерометра и т. д.). В КБА эти данные используются для сопоставления с аналогичными данными или для приблизительных расчетов.

III.2.2. Правила качественного биомеханического анализа

Правила, специфичные для КБА. В эту группу входят правила, присущие только КБА, несвойственные количественному анализу.

1. *Эффект рассматриваемых движений и действий определяется грубо, приближенно, следовательно, приближенный характер носят и оценки, выводы, решения* (конечные и промежуточные). Это связано прежде всего с отсутствием приборных измерений, с оценкой «на глаз». Но не только в этом причина. Иногда нельзя позволить себе учитывать много факторов, из соображений оперативности анализа приходится удовлетворяться только самыми существенными. Во многих случаях вполне устраивает приближенный характер оценок и решений, поскольку бывают нужны предельно простые и чисто качественные выводы (например, надо направить движение правее, выполнить его с меньшим перепадом скоростей, такое-то усилие начать раньше, чем пройден такой-то ориентир, а не позже).

2. *Выводы КБА почти всегда должны носить вероятностный характер.* Это освобождает от пут единственного варианта, позволяет легче избежать плена возможных заблуждений и ошибок, сохранить способность искать другие решения, корректировать свои определения. Конечно, предпочтение следует отдавать более вероятным вариантам — в меру отношений их вероятностей. Вероятностный характер решений и оценок — логическое следствие вынужденного игнорирования многих существенных и второстепенных факторов или неполного их учета. Идти на это целесообразно в связи с тем, что, во-первых, невозможно учесть многие факторы одновременно (тем более гарантировать правильность их учета); во-вторых, с увеличением числа учитываемых факторов лавинообразно нарастает сложность и трудоемкость анализа.

3. *Основная форма КБА — сравнительный анализ.* Здесь чувствительность, точность и разрешающая способность КБА много выше, чем в других его формах. Сравнить можно выполнение одного и того же действия (упражнения) одним или разными спортсменами на основе одного и того же или разных вариантов техники; выполнение аналогичных частей (а то и деталей) различных упражнений или действий; идеализированную схему действия с его реализованной техникой; различные модификации упражнений и т. д.

4. Должен быть четко выражен *критический подход к отправным данным КБА, к оценкам и решениям.* Этот подход должен проявляться прежде всего в устойчивой тенденции к проверке различных гипотез, решений, оценок. Нельзя делать (если только не вынуждают обстоятельства) категорических выводов на основании двух-трех наблюдений, тем более одного. Понимание вероятностного характера КБА косвенно способствует такого рода критическому настрою.

5. *Сомнительные моменты анализа должны подвергаться экспериментальной проверке* (если это не требует особых усилий и не отражается сколько-нибудь существенно на тренировке): спортсмен должен попробовать какое-то число раз выполнить рассматриваемое действие в точности так же, как выполнял, либо с задаваемыми изменениями. Такого рода контрольные повторения действия (упражнения), конечно, не гарантируют правильного решения вопроса, но существенно повышают его вероятность. Следует пользоваться (как одним из наиболее информативных) методом задаваемых изменений выполнения действия (упражнения).

6. *Замеченная двигательная ошибка не всегда закономерна*, поэтому следует сначала постараться ее подавить и лишь при отрицательном результате приступить к анализу; однако это не догма: во многих случаях не бывает серьезных оснований для сомнений в сущности ошибки.

7. Два правила относятся к *поиску ошибок-причин*: 1) его нужно основывать на анализе распознанной двигательной ошибки (или нескольких, если распознано сразу несколько), при этом нередко приходится привлекать те или иные гипотезы; 2) анализируя причинную обусловленность ошибки, следует придерживаться неизменного порядка, например: анализ внешних причин ошиб-

ки — анализ внутренних причин — непосредственный поиск ошибки-причины, или: анализ механических причин — анализ координационных причин — анализ психологических причин — анализ педагогических причин.

8. *Анализируя реализованную технику упражнения (действия), нужно последовательно рассматривать:* 1) избранный вариант техники упражнения и мотивы данного выбора; 2) особенности техники выполнения упражнения; 3) особенности предыдущих либо последующих упражнений (действий) и их выполнения; 4) одновременно выполняемые действия и их координационные связи с анализируемым; 5) внешние условия; 6) двигательные особенности спортсмена: физические, координационные, психические (имея в виду потенциальные возможности, багаж навыков, возможную их интерференцию; 7) состояние спортсмена: физиологическое (самочувствие, степень утомления), психическое (психическое утомление, эмоциональное состояние, специфическое отношение к данному упражнению или действию), координационное (влияние предыдущих действий, наличие временных координационных неувязок, сбоев).

9. Если в циклической системе движений и действий *один или несколько циклов почему-то отличаются от остальных*, надо искать сначала внешнюю причину изменений, затем ошибку в ближайших предыдущих циклах, затем особенности прогнозируемой спортсменом ситуации (прогноз может быть и ошибочным из-за каких-то внешних, обманчивых признаков) и лишь в последнюю очередь — техническую ошибку (если она не квалифицирована сразу же как бесспорно спонтанная).

10. *Последовательность рассмотрения движений:* 1) крупные, затем малые; 2) звенья биомеханической цепи самые дальние от участка наиболее мощного взаимодействия, затем постепенно ближние звенья¹ (с учетом возникающих инерционных² сил и моментов); 3) анализ работы звеньев биомеханической цепи в обратной последовательности: от участка наиболее мощно-

¹ Анализируя, например, толкание ядра, надо начать с движений звеньев толкающей руки, потом последовательно перейти к движениям туловища (по отношению к движениям рукой они несущие и потому должны строиться с расчетом максимально увеличить эффективность движений руки), затем звеньев ног (по отношению к движениям туловища и рук они несущие).

² Их часто называют «реактивными».

го взаимодействия к дальним звеньям¹; 4) основная рабочая биомеханическая цепь, затем остальные, косвенно влияющие на нее (инерционные воздействия, координационные взаимосвязи), конечно с учетом этого влияния, если оно существенно.

Универсальные правила. К этой группе относятся правила, справедливые не только для КБА, но и для всех других форм анализа.

1. *Чтобы облегчить решение задач анализа, их можно делить на относительно самостоятельные части и решать каждую отдельно.* Деля задачу на части, необходимо соблюдать некоторые условия. Первое: нужно заменять связи, существующие между частями, конкретными воздействиями, которые они оказывают друг на друга в конкретной ситуации. Это как бы расширение метода «отсечения связей», известного в теоретической механике. Второе: выделяемая часть задачи должна представлять собой самостоятельную и притом разрешимую задачу. Третье: деление на части не должно быть слишком дробным, так как замена связей воздействиями всегда связана с погрешностями и вероятностью ошибки. Четвертое: та или иная схема деления должна быть логически оправдана с точки зрения эффективности анализа и облегчения задачи.

2. Следует взять за правило *«челночный» способ решения задач*, суть которого в том, что план решения составляется по принципу «от конца к началу», а реализация плана — «от начала к концу». В ряде случаев требуется неоднократный поочередный «проход в оба конца» с целью поэтапной подгонки параметров движений.

3. *Динамика системы движений может быть с известным приближением определена по их кинематике и по статике мгновенных («проходных») поз.*

Следует: исходя из геометрии мгновенных поз, рассматриваемых в качестве контрольных, «прикидывать» моменты сил тяжести звеньев тела относительно осей суставов, принимать в расчет примерные величины моментов инерции этих звеньев относительно названных осей, учитывать инерционность ус-

¹ Взвесив функциональные возможности ног при толкании ядра (см. сноску 1 на стр. 193), нужно рассмотреть эффективность различных вариантов работы туловищем при оптимальной работе ногами, затем толкающей рукой при оптимальной работе ногами и туловищем.

принимаемых (в том числе и замедляемых) масс тела спортсмена и других тел, с которыми он взаимодействует; б) принимать в расчет величины линейных и угловых ускорений, изменения поз, значительные деформации упругих тел; в) ориентироваться на скорости составных движений, а не движений относительно Земли. Во многих случаях, однако, целесообразно ориентироваться на скорость рабочей точки кинематической цепи относительно ее закрепленного конца, в этом случае показательна и линейная скорость. Скорость движений представляет интерес при определении динамики движений с двух позиций: она позволяет, во-первых, косвенно определить среднее ускорение, во-вторых, — силовые возможности спортсмена в данной двигательной ситуации (1.3.4). Реально же действующие силы определяются по ускорениям звеньев тела с учетом их масс и моментов инерции относительно соответствующих суставных осей, причем ускорения поступательного и вращательного движений следует определять относительно системы отсчета и осей, неподвижно связанных с Землей, анализ суставных движений сам по себе не может дать верной картины; г) следует иметь в виду, что все ускорения звеньев тела в конечном счете обеспечиваются либо противоположно направленными ускорениями других звеньев, либо опорными взаимодействиями. Это значит, что по ускорениям часто можно определить (качественно) характер, величину и направление опорных взаимодействий; д) при анализе кратковременных, близких к ударным, энергетически емких взаимодействиям с опорой следует рассматривать и учитывать предваряющие скорости и ускорения контактирующих с опорой звеньев тела не только относительно опоры, но и относительно проксимальнее расположенных звеньев: это позволяет определить усилия, предшествовавшие контакту и являющиеся подготовительными к нему (в частности, заранее готовится встреча с опорой при значительном напряжении мышц, необходимая, например, для отталкивания в опорных гимнастических прыжках, в легкоатлетических и акробатических прыжках, в лыжных ходах; е) анализируя приземления, учитывать следует нецентральный характер силы реакции опоры, изменяющийся в связи с этим кинетический момент тела.

4. Анализируя систему движений, необходимо *обращать внимание на перемещения звеньев тела во всех плоскостях*, а не только в основной плоскости движений. Особенно важно помнить это при анализе рисунков и кинограмм.

5. «Мелкими» движениями обычно можно пренебречь, если анализу подвергается система движений, в которую входят движения с большим размахом либо движения

больших масс тела, даже небольшие по размаху, но со значительными ускорениями.

Однако *мелкие движения нередко могут играть очень существенную роль в координационном отношении* и в таких случаях подлежат тщательному анализу. Например, во всех точностных действиях роль мелких движений очень велика: как правило, именно они обеспечивают сам точностный эффект, крупные же движения служат лишь энергетическому обеспечению действия и создают разве что самый общий фон. Роль мелких движений, как правило, возрастает при сравнительном анализе, особенно если сравниваемые системы движений мало различаются между собой. Наконец, если *все движения невелики по размаху и энергетически незначительны*, акцент следует делать на наиболее энергетически значимые.

6. *Учет изменений* суставных (или несколько более сложных) движений нередко не менее важен и информативен, чем рассмотрение самих движений. Причем надо учитывать и *скорость изменения* движения.

7. *В качестве ориентиров при анализе следует использовать граничные положения, позы, моменты взаимодействия.* Например, при анализе бега нужно ориентироваться на моменты постановки ноги, прохождения ц. т. тела опорной вертикали, завершения отталкивания (прекращение контакта ноги с опорой), максимума подъема бедра. Такого рода «опорные точки» анализа дают возможность проводить сравнения, формулировать и оценивать качественные различия вариантов реализованной техники или техники упражнения.

«Управленческие» правила. К этой группе относятся правила, касающиеся отражения в анализе двигательных действий закономерностей управления движениями и особенностей функционирования опорно-двигательного аппарата спортсмена.

1. *Учитывать аспект надежности выполнения упражнения.* Следует в первую очередь помнить об оптимизации выполнения упражнения (включая оптимизацию его техники), а также о вероятностном характере выполнения движений и действий. Кроме того, нельзя забывать о возможности повысить надежность выполнения упражнения специальными приемами и мерами.

2. *Учитывать физиологические закономерности работы нервно-мышечного аппарата:* а) «инерционность» процессов напряжения и расслабления мышц, т. е. протяжен-

ность их во времени; б) зависимость величины предельной силы тяги мышц (а значит, силовых возможностей динамической цепи) при удерживающей работе от непосредственно предшествовавшего режима движения; в) зависимость предельной силы тяги мышц от скорости движения; г) зависимость степени инерционности процессов напряжения и расслабления мышц от скорости их сокращения или удлинения (скорость сокращения отрицательна); д) зависимость предельного напряжения мышцы от величины суставного угла; е) наличие латентного периода моторной реакции (особенно значительного при реакциях выбора) и др.

3. *Учитывать закономерности координации движений и мышечных напряжений:* а) зависимость предельного напряжения рассматриваемых мышц от напряжения других мышц; б) закономерности синергетических и антагонистических связей напряжения мышц; в) зависимость процесса напряжения или расслабления рассматриваемых мышц от напряжения или расслабления других мышц.

4. *Учитывать закономерности работы биомеханических цепей, определяющие:* а) суммирование угловых перемещений, скоростей и ускорений рабочего и проксимальнее лежащих звеньев цепи; б) передачу моментов через суставы со звена на звено в направлении от свободного конца цепи к закрепленному; в) зависимость работы рук от работы пояса верхних конечностей; г) передачу нагрузки по цепи от рабочей точки к закрепленному концу; д) различные силовые потенциалы звеньев динамической цепи и функциональное выравнивание их возможностей за счет различия скоростей суставных движений (см. I. 3. 4); е) наличие особо нагруженных и потому определяющих звеньев биодинамической цепи; нужно выявить их, «взвесив» нагрузки на различные участки опорно-двигательного аппарата, уточнить места локальных перегрузок (угрожаемые), чтобы внести в систему движений коррекции, снимающие перегрузки.

5. *Учитывать индивидуальные текущие двигательные особенности спортсмена, имея в виду индивидуальные потенциальные возможности и реальные текущие возможности, отличающиеся от потенциальных из-за утомления, не очень хорошего самочувствия, недостаточного понимания ситуации, несобранности, травмы и т. д. Можно говорить об анатомо-физиологических, психолого-педагогиче-*

ских и координационно-педагогических двигательных индивидуальных особенностях спортсмена.

6. *Учитывать локализацию силовых и скоростных возможностей*, свойственную человеку вообще и данному спортсмену в частности (индивидуальную локализацию).

7. *Учитывать психологические факторы, влияющие на управление движениями*: а) мотивацию и двигательную установку; б) «настройку» на данное упражнение; в) эмоциональное состояние и настроение; г) способность к контролю и саморегуляции, качество афферентной программы, соответствующие умения и навыки; д) объем внимания, его устойчивость, способность к его распределению; е) степень психического утомления; ж) ход спортивной борьбы; з) психологические особенности внешней обстановки; и) индивидуальную быстроту реакции; к) индивидуальные особенности реакции выбора; л) волевые качества; м) функционирование анализаторов, н) темперамент спортсмена и др.

Правила применения механики (основные правила, касающиеся главным образом прямого обращения к законам механики).

1. *Учитывать локализацию масс тела и в связи с этим величины моментов инерции тела и его частей относительно оси вращения*. Это необходимо как для определения ускорений по известным силам и их моментам («прямая задача механики»), так и для определения сил и моментов сил по ускорениям («обратная задача механики»).

2. *Учитывать протяженность во времени изменения телом или его частями линейной либо угловой скорости*, т. е. соответственно количества движения либо кинетического момента, под действием приложенных внешних сил или моментов сил. Это проявление инерционности тела. Данное правило тесно связано с предыдущим, поскольку сила, масса, ускорение (в поступательном движении) и момент силы, момент инерции, угловое ускорение (во вращательном движении) связаны между собой функциональной зависимостью (см. I. 2).

3. *Учитывать инерционные воздействия* (возникновение так называемых реактивных сил и моментов): результат взаимодействия спортсмена с другим спортсменом или предметом, а также взаимодействия звеньев тела спортсмена. Здесь следует особо отметить два общих случая: а) когда тело находится в безопорном состоянии,

активное движение одного звена (группы звеньев) влечет за собой встречное перемещение других звеньев тела в соответствии с законами сохранения движения центра массе и сохранения кинетического момента; б) при силовом взаимодействии тела спортсмена с опорой активные ускоряемые движения звеньев тела, направленные в сторону действия реакции опоры, усиливают воздействия, направленные противоположно, — ослабляют его; направленные под прямым углом к линии действия реакции опоры обычно практически не влияют на величину воздействия. При КБА, как правило, интерес представляют только движения крупных звеньев тела со значительными ускорениями.

4. *Учитывать действие на тело и его звенья силы тяжести и ее моментов относительно осей суставов.* Только при безопорном состоянии тела моменты силы тяжести ни на него, ни на его звенья не действуют.

Заданные условия деятельности. Отдельную группу составляют правила, связанные с регламентацией в спорте определенных условий, которые необходимо соблюдать и которые являются исходными для решаемой двигательной задачи.

1. *Учитывать особенности выполняемого двигательного действия:* каждое имеет свои особенности с точки зрения биомеханики, физиологии, психологии, спортивной педагогики.

2. *Учитывать регламентацию деятельности во времени.* Например: гимнаст должен придерживаться заданной последовательности элементов комбинации; штангист, взяв штангу на грудь, должен иметь в виду, что затем придется толкать ее от груди; теннисист после выполнения удара должен переместиться в то место площадки, куда противник направит мяч, затем снова выполнить удар и т. д.

3. *Учитывать регламентацию деятельности в пространстве.* Правила соревнований, конструкция инвентаря, особенности места выполнения действия ограничивают перемещения спортсмена в пространстве. Например: техника движений метателя во многом определяется запретом выхода за пределы круга; перемещения гимнаста в пространстве в большой степени ограничены конструкцией снаряда; деятельность борца или боксера пространственно ограничена ковром (рингом), а также расположением и деятельностью противника. Пространственными

ограничениями объясняются многие черты техники упражнений и реализованной техники упражнений.

4. *Учитывать тактическую регламентацию деятельности.* Имеются в виду сознательные отклонения избранного варианта техники от наиболее рационального в представлении трудностей, связанных а) с особенностями двигательной задачи; б) с особенностями противника или партнера; в) со стремлением дезориентировать противника: скрыть от него информацию о своей деятельности, дать ему ложную информацию (для этого применяют также дополнительные, не оправданные стоящей чисто технической двигательной задачей действия).

5. *Учитывать ситуационные особенности внешних условий двигательной деятельности:* обычно эти условия в чем-то отличаются от стандартных, что может существенно сказаться на выполнении упражнений и действий.

Расшифровка изображений выполнения упражнений. Использование кинограмм, рисунков, схем движений и т. п. в процессе КБА сопряжено с определенными трудностями, преодолению которых могут помочь следующие правила.

1. *«Домысливать» движение на основе совокупности изображенных поз* (и даже одного-единственного изображения). В противном случае трудно избежать частичной подмены анализа движений анализом статических упражнений.

2. *Ориентацию тела определять по отношению к вертикали, фиксированной на кинограмме.* Отсчет от горизонтали может привести к значительным ошибкам, если съемка производилась с поворотом кинокамеры в горизонтальной плоскости с целью удержать перемещающегося спортсмена в кадре.

3. *Проследивать на последовательных кадрах кинограммы прежде всего изменение суставных углов* в основной рабочей цепи, а не положения звеньев тела: именно изменения суставных углов определяют (в совокупности с действием внешних сил) динамику двигательного действия.

4. *Ориентироваться на внешний вид мышц:* по нему часто можно в первом приближении определить, какие мышцы, в какой момент и в какой степени напряжены, а какие расслаблены.

5. *Анализировать деформацию упругих внешних тел,* с которыми взаимодействует спортсмен, определяя таким

образом силу этого взаимодействия и ее изменение во времени.

Получение исходных данных анализа. Качество и полнота исходных данных в значительной мере определяют результативность анализа. Представляется целесообразным перечислить здесь несколько общих правил сбора этих данных (само собой разумеется, выбирать их надо с учетом специфики средств и приемов анализа, которые намечено применить).

1. *Иметь хотя бы самый общий план* наблюдения или самонаблюдения. Если не знаешь, за чем и как наблюдать, вряд ли многое удастся заметить, тем более оценить замеченное и (хотя бы в какой-то мере) качественно его осмыслить.

2. *Ведя наблюдение или самонаблюдение, иметь гипотезу*, объясняющую причинно-следственные зависимости ожидаемых особенностей выполнения изучаемого действия (в том числе причинные цепи ошибок). Правда, при этом могут появиться известная предвзятость выводов и связанные с ней ошибки в наблюдениях, но зато часто гораздо больше можно увидеть (почувствовать) и понять.

3. *Предугадывать вероятные особенности выполнения действия* (в том числе ошибки и их масштаб). В случае удачного прогноза наблюдение или самонаблюдение значительно тоньше, глубже и полнее.

4. *Наблюдая, акцентировать внимание на «ключевых» деталях и соотношениях.* То же при самонаблюдении.

5. *Сравнивать реализованную технику упражнения* разных спортсменов либо одного и того же спортсмена в разных попытках, обращая внимание на диапазон, направление и скорость суставных движений, их ритмическую структуру, исходные, конечные и характерные промежуточные позы и позные фрагменты, диапазон, направление и скорость поступательных и вращательных движений всего тела.

6. *Анализировать реализованную технику упражнения с учетом действий противника (партнера).*

7. *Данные самонаблюдений пополнять данными наблюдений со стороны.*

8. *Учитывать субъективный характер самонаблюдения:* получаемая информация относится больше к технике выполнения упражнения, чем к реализованной технике.

9. *Следить за положением головы и направлением взгляда:* во многих упражнениях и действиях это помогает определить цель и направление усилий спортсмена (нередко до начала самого действия), так что наблюдающий может предвидеть их и потому лучше разглядеть, а в ряде случаев и выявить распределение их в опорно-двигательном аппарате. «Нестандартное» для данного упражнения или действия положение головы часто служит признаком (прямым или косвенным) двигательной ошибки и тем самым помогает определить ее.

10. *Дополнять метод наблюдения методом опроса.* Это обогащает информацию: она не просто суммируется; нередко появляется новая, так называемая эмерджентная, информация — результат усложнения и расширения информационной системы.

11. *Опросом спортсмена стимулировать его к самонаблюдению,* тем самым повышая количество и качество информации.

12. *Расширять объем информации и объективизировать ее с помощью опроса других наблюдателей.*

13. *Выбирать такой ракурс для наблюдения, чтобы яснее всего были видны основные компоненты двигательного действия или интересующей его части.* Вместе с тем по возможности рассматривать выполнение движений в разных ракурсах, т. е. с разных точек, поскольку это может дать новые исходные данные для анализа, подчас неожиданные.

Правила анализа SOS-действий. Думается, что анализу самостраховки (а точнее, «самоспасательных» действий, или SOS-действий) в подавляющем большинстве видов спорта придается явно недостаточное значение. Почему-то анализ этих действий считается не заслуживающим внимания, хотя все прекрасно понимают их важность для сохранения жизни и здоровья спортсменов. Да и спортивные успехи немало зависят от умения предотвратить травмы.

1. *Определять особо нагруженные звенья динамических цепей* (учитывая их прочностные характеристики) с целью выявления локализации потенциальной опасности. Особое внимание обращать на временно ослабленные звенья.

2. *Определить для себя (приблизительно) зоны околопредельных силовых возможностей звеньев динамических цепей в различных типовых ситуациях.*

3. *Определять для себя (приблизительно) зоны околопредельных локальных скоростных возможностей* (возможностей выполнять те или иные движения с той или иной скоростью), за пределами которых начинается SOS-ситуация.

4. *Определять для себя зоны локальных координационных возможностей*, мобилизация которых необходима в SOS-ситуациях.

5. *Определять (или обеспечивать короткий прогноз) наступление SOS-ситуаций* по факту вхождения в одну из перечисленных зон, даже если в остальном действия развиваются нормально.

6. *Стараться быстро и четко определить общий характер и особенности наступившей или прогнозируемой ситуации* такого рода.

7. *Иметь заранее заготовленные схемы SOS-действий*, адекватных типовым и в достаточной мере вероятным SOS-ситуациями.

8. *Контролировать адекватность реализуемых SOS-действий текущей ситуации в каждый момент*, имея в виду готовность к срочному внесению (по мере необходимости) коррекций в систему движений. Учитывать при этом первоочередность задачи защиты более уязвимых участков тела.

III.2.3. Приемы анализа

Наряду с правилами качественного биомеханического анализа следует знать приемы, обеспечивающие их выполнение, и владеть ими.

Организация наблюдения. 1. Повторение действия без изменения способа выполнения (для уточнения наблюдения). Несколько таких повторений дают материал, позволяющий строить анализ на устойчивых, а не случайных деталях выполнения. 2. Если спортсмен несколько раз выполняет упражнение акцентируя внимание на какой-то определенной детали, он и его тренер (последний с опорой на опрос спортсмена об его ощущениях) получают возможность лучше разобраться именно в этой части упражнения. 3. Выполнение одного и того же упражнения или действия разными спортсменами для сравнительного анализа.

Варьирование выполнения действий. 1. Спортсмену предлагается изменить способ выполнения ключевого

движения, что изменяет всю причинную цепь имеющихся двигательных ошибок. Путем сравнительного анализа легче найти ошибку-первопричину. 2. Спортсмену предлагается изменить какие-то компоненты системы движений, с тем чтобы: а) определить возможности и пути совершенствования техники упражнения; б) модифицировать упражнение или действие; в) раскрыть индивидуальные особенности или возможности спортсмена; г) определить допустимую вариативность системы движений. 3. Спортсмену предлагается несколькими разными способами выполнить одни и те же компоненты системы движений, чтобы углубить представления о ее структуре, о предоставляемых ею компенсаторных возможностях, о сравнительной эффективности различных вариантов техники упражнения либо техники выполнения упражнения.

Снижение логико-информационных трудностей анализа. 1. Прием динамической фрагментации: сложные динамические системы делятся на более простые. Этот прием справедлив, конечно, лишь условно, поскольку в сложных системах движений принцип простого суммирования частей целого далеко не всегда применим и всегда весьма неточен, сопряжен с упрощениями и искажениями действительной картины. Поэтому в результате заранее вносится ошибка, и задача проводящего анализ — определить, в каких случаях ошибка остается в таких пределах, что при КБА ею можно пренебречь.

Использование данного приема сопряжено с использованием метода «отсечения связей», широко применяемого в теоретической механике (конечно, в его специфической для КБА интерпретации). Нужно приближенно, «на глаз», определить силы, с которыми действуют условно ликвидированные связи, и включать эти силы в рассматриваемую систему. Чем точнее (по величине и направлению) определены силы, тем точнее будет анализ. При сравнительном КБА интерес обычно представляет зависимость изменения каких-то сторон или характерных особенностей рассматриваемой системы движений от изменения упомянутых сил, создаваемых связями.

2. Кинематическая фрагментация также упрощает анализ, но здесь нет необходимости в «отсечении связей». Зато четко встает вопрос о раздельном анализе относительных и «абсолютных» (так часто называют движения относительно системы отсчета, связанной с Землей) движений и их систем.

3. Прогнозируя появление двигательных ошибок, можно определенным образом «нацелить» на обнаружение их признаков свои анализаторы: кто знает и ожидает, тот лучше видит.

4. Положение ц. т. тела и его звеньев определяется «на глаз» путем сравнения рассматриваемой позы с другой, по возможности близкой, для которой это положение известно.

При сравнительном анализе часто бывает достаточно установить примерные направление, скорость и ускорение ц. т. тела и его звеньев, поскольку именно это в основном определяет динамику действия. «Прикинуть» данные характеристики несложно, если движения звеньев тела выполняются со значительным размахом. Для движений с малым размахом сделать это гораздо труднее, хотя все-таки можно, если суметь хорошо их разглядеть и понять их место в системе. Конечно же, качественные оценки («больше — меньше», «сильнее — слабее — так же», «выше — ниже — так же» и т. п.), могут быть тоньше, количественно определеннее, если лучше оценить все основные суставные движения.

5. Использование готовых «штампов» решений и оценок в типичных двигательных ситуациях или их фрагментах. В ситуациях, сходных с ними в чем-то существенном, имеет смысл «примерять» соответствующие «штампы» в расчете на то, что они могут натолкнуть на верное решение, а в случае удачи — даже подойти с допустимой погрешностью.

6. Определение динамики действия с учетом «следовых» движений: произвольных движений по окончании основного действия, происходящих в результате остаточного напряжения мышц. «Следовые» движения позволяют определить характер и степень напряжения мышц перед самым завершением основного действия.

7. Мысленное представление себя выполняющим рассматриваемое действие в той же ситуации (так же или в чем-то иначе). Этот прием можно назвать *идеомоторным моделированием*. Оно может существенно помочь выявить: а) динамику усилий, б) детали *техники выполнения* действия, в) сопутствующие ощущения, г) возможные тенденции возникновения двигательных ошибок, д) причины двигательных ошибок. При идеомоторном моделировании тренер привлекает свой собственный сенсомоторный опыт выполнения соответствующих (или сходных) двигательных действий.

Анализ изображений и мысленно представляемых схем. 1. Учет перспективных и ракурсных искажений на кинограмме, в частности связанных с движениями в плоскостях, не параллельных плоскости кадра. 2. При определении ц. т. тела или его фрагментов попарное соединение прямой ц. т. звеньев (общий ц. т. расположен на этой прямой, его расстояние от ц. т. звеньев обратно пропорционально их массам). Этот прием позволяет найти расположение ц. т. любого по величине комплекса звеньев тела или даже системы тел. 3. Различное расположение кинограмм или рисунков, чтобы легче было рассматривать отдельно активную динамику движений, отвлекаясь от действия силы тяжести (иногда это нужно).

Приемы преобразования информации. 1. Интерполяция — определение промежуточных значений величины по известным ее значениям, расположенным по разные стороны от искомым. При этом требуется знание «расстояния» определяемой величины от известных и закон ее изменения в связи с расположением в данной области (пространственной, временной, силовой и т. п.). 2. Экстраполяция — определение величины, расположенной вне изученной области, по известным величинам, расположенным внутри нее. Исходной предпосылкой является знание закона изменения этих величин в связи с их расположением и предположение о том, что данный закон имеет силу и вне данной области. Следует различать метод экстраполяции — основу прогнозирования как рода деятельности и прием экстраполяции — способ упростить решение конкретной задачи. Часто для более точной экстраполяции нужно предварительно произвести ряд интерполяций. 3. *Оптимизация* — также прием, представляющий собой конкретное приложение метода. заключается он в том, что находится не самая лучшая с какой-то одной точки зрения величина или характеристика, а оптимальная, т. е. лучшая с учетом всего комплекса существенных точек зрения. Не имея возможности использовать специальные математические способы оптимизации величин, следует обращаться к своему опыту, интуиции и методу подбора. 4. *Экстремализация* — прием, применяемый, когда необходимо знать, что получится, если рассматриваемая величина достигнет возможного максимума или минимума (т. е. экстремума). Задача — так изменить действующие внешние и внутренние факторы, чтобы данный экстремум был достигнут.

III.2.4. Типичные ошибки качественного биомеханического анализа

Ошибки в механике движений. Наиболее часто встречаются следующие ошибки анализа:

1. *Не учитываются инерционные силы.* Имеются в виду: а) преодоление сопротивления за счет запаса количества движения либо кинетического момента; б) инерционное сопротивление ускоряемого внешнего тела; в) инерционные («реактивные») силы между движущимися звеньями тела; г) инерционные (или «реактивные») моменты при взаимодействии взаимно перемещающихся звеньев тела и передача их по биомеханической цепи.

2. *Неверный учет действия нецентральной силы.*

3. *При определении динамики действий по их кинематике не учитывается действие силы тяжести,* на уравновешивание которой расходуется существенная часть внешней активной силы или силы реакции опоры, так что направления этой силы и ускорения тела далеко не совпадают.

4. *Ошибки в определении направления сил реакции опоры.* Наиболее типичные — представление о том, что сила реакции опоры при отталкивании направлена обязательно центрально или что отталкивания и рывки направлены по линии, соединяющей место опоры с проксимальным суставом конечности (плечевым, тазобедренным).

5. *Ошибки, связанные с анализом сохранения устойчивости тела.* Часть их связана с тем, что не учитываются реальные функциональные возможности спортсмена при взаимодействии с опорой (см. II. 2.2.). Еще одна распространенная ошибка: при анализе останавливающих равновесий не учитывают кинетический момент тела.

Ошибки в учете особенностей двигательного аппарата человека. Нередки ошибки учета локализации силовых и скоростных возможностей двигательного аппарата человека вообще и конкретного спортсмена в частности. Это влечет за собой выбор нецелесообразного варианта техники упражнения. Другая ошибка: не принимается в расчет зависимость развиваемых суставных моментов от величины угла между сочленяющимися костями (меняется плечо силы тяги мышцы; сила мышцы больше в диа-

пазоне суставных углов, в котором проводилось развитие ее силы, а также пронация-супинация в суставе).

Ошибки анализа, связанные с игнорированием закономерностей мышечного напряжения и расслабления. Существует несколько групп такого рода ошибок.

1. *Не учитывается, что для напряжения мышц или для их расслабления (см. I. 3.5) необходимо время, исчисляемое десятками долями секунды (в масштабах времени выполнения спортивных действий — весьма значительное).*

Известны приемы, уменьшающие эту инерционность: а) предваряющее повышение тонуса мышц (не только тех, которые вслед за этим должны быть быстро напряжены, но и других) ускоряет процесс достижения нужными мышцами высокого напряжения; б) установка на «взрывное» напряжение мышц укорачивает латентный период моторной реакции; в) установка на «мгновенное» активное расслабление *возможно большей группы мышц* (поскольку это не разрушает координационную структуру действия) позволяет гораздо быстрее расслабить нужные мышцы.

2. *Игнорируется зависимость предельной величины развиваемой силы воздействия в рабочей точке от скорости движения.* Если вспомнить, что силовые возможности могут в зависимости от скорости движения различаться в десятки раз, то легко понять, какого ранга бывает подобная ошибка (см. I.3.4).

3. *Не учитывается различие силовых возможностей динамической цепи* при статическом режиме работы в зависимости от непосредственно предшествовавшего режима работы (см. I.3.5).

4. *Не учитывается падение величины предельного напряжения мышцы в связи с увеличением его продолжительности;* ошибка эта нередка, хотя все прекрасно знают данную зависимость.

Ошибки осмысливания двигательных ошибок. Они встречаются очень часто. Здесь следует упомянуть хотя бы две: 1) когда ошибку-следствие принимают за ошибку-причину и пытаются «вылечить симптом», а не «болезнь»; 2) когда распознанная ошибка является способом компенсировать другую более значительную, но это не учитывается при анализе; подавление ошибки-компенсатора может привести к появлению другой, более серьезной, ошибки.

От автора	5
Введение	7
I. Общие основы биомеханического анализа	15
I.1. Спортивное упражнение	—
Упражнение как система движений и действий (15). Управляющие движения (19). Типология действий в спортивных упражнениях (22).	
I.2. Основные положения механики	29
Три закона механики (законы Ньютона) (29). Основные законы вращательного движения (34). О кинематических характеристиках движения (39). Еще о динамике (44).	
I.3. Опорно-двигательный аппарат и двигательная деятельность	50
Биомеханические цепи (50). Координация работы мышц (55). Инерционность процесса напряжения мышц (58). Закономерность «сила — скорость» (65). Некоторые другие закономерности (71).	
I.4. Прикладные вопросы механики двигательных действий Энергетический аспект двигательных действий (73). О траектории тел (77). Безопорные перемещения (81). Опорные взаимодействия (83).	73
II. Управление двигательными действиями	87
II.1. Человек как самоуправляющаяся система	—
Общие принципы самоуправления (87). Немного информации об информации (94). Двигательная программа: формирование и реализация (99).	
II.2. Управление непереместительными действиями	108
Управление позой и ее медленными изменениями (108). Управление устойчивостью тела (112). Перемена места взаимодействия (121). Точностные и выразительные действия (123). Максимальные динамичные действия (125). Амортизация взаимодействия (129).	
II.3. Управление переместительными действиями	132
Отталкивания и рывки (132). Локомоции (137). Управление вращением тела (145).	
II.4. Оптимизация выполнения упражнения	153
Психологический аспект управления двигательными действиями (153). Проблема целесообразной индивидуализации выполнения упражнения (157). Надежность выполнения упражнений и действий (161).	
III. Основы методики качественного биомеханического анализа	163
III.1. Элементы теории ошибок	—
Двигательные ошибки в спорте (их место и причины) (163). Классификация двигательных ошибок (166). Обнаружение, распознавание и оценка технических ошибок (179). Преодоление ошибок (182).	
III.2. Конкретные вопросы методики качественного анализа	185
Отправные данные качественного биомеханического анализа (185). Правила качественного биомеханического анализа (191). Приемы анализа (203). Типичные ошибки качественного биомеханического анализа (207).	

В. Б. Норенберг



Основы качественного биомеханического анализа

60 коп.

Техническая подготовка спортсмена играет первостепенную роль в большинстве видов спорта. Но она может быть по-настоящему эффективной только при условии объективного анализа выполнения спортсменами упражнений и действий. В процессе соревнований либо на обычном тренировочном занятии измерение приборами параметров и характеристик движений спортсмена с последующей тщательной обработкой результатов в подавляющем большинстве случаев невозможно, да и выводы обычно удается получить далеко не сразу. В настоящей книге излагаются основы качественного биомеханического анализа выполнения спортивных упражнений и действий — методики, владея которой можно в достаточной мере объективно анализировать и оценивать выполнение упражнений и действий без применения специальной аппаратуры и громоздких вычислительных операций.

