

Организация сложных двигательных действий спортсменов

Резюме. У статті узагальнено деякі підсумки багаторічних досліджень автора, його особистого тренерського досвіду і досвіду консультативної роботи з національними командами Росії та інших країн. Зокрема, викладено науково-методичну концепцію психомоторної та біодинамічної структури складної рухової дії і сформульовано поняття координації зусиль та переважної спрямованості системи рухів спортсмена, спортивної техніки і спортивно-технічної майстерності.

S u m m a r y. The paper contains summarized results of the author's long-term studies, his experience as a coach as well as experience of consultative work with national teams of Russia and other countries. In particular, the scientific-methodical concept of psycho-motor and biodynamical structure of complex motor action is described, the notions of effort coordination and preferential direction of athlete's system of motions, sports technique and sports and technical skills are formulated.

Проблема

Принцип организации и механизм управления сложным двигательным действием уже в течение многих десятилетий привлекает внимание анатомов, физиологов, психологов, медиков, инженеров, биофизиков, математиков. Физиология и позднее нейрофизиология, начавшие исследования моторной функции человека с анализа простых односуставных движений, мышечных синергий и механизмов реципрокной иннервации при взаимодействии мышц-антагонистов постепенно перешла к изучению принципов организации и центрально-нервных механизмов координации сложных двигательных действий.

Появление кибернетики и теории информации и проникновение их в биологию методологически обогатило эту область естественно-научного знания и привело к представлениям о мозге как о некоем компьютере, который воспринимает и перерабатывает внешнюю информацию и затем принимает решение и выбирает способ его реализации. Эта идея легла в основу развития современных представлений об организации и регуляции двигательного поведения, обучения сложным двигательным действиям, в том числе и в условиях спортивной деятельности.

Такие представления развивались в нескольких направлениях.

Одно из них — собственно биомеханическое — рассматривало моторное действие как систему движений, критерий рациональности в организации которой определялся законами механики. Сюда относятся и работы по биомеханике спортивных упражнений [4], одна из задач которых сводилась к тому, чтобы описать кинематическую схему движений, найти ей логическое объяснение и затем сформулировать педагогические (дидактические) принципы обучения и совершенствования спортивной техники [4].

Другое направление — психолого-физиологическое — ориентировано на рассмотрение двигательного поведения, исходя из достижений психологии, психофизиологии, биофизики, и совмещение в единой концепции интеллектуальной сферы исполнителя (уровень сознания, анализа, представлений, двигательного опыта) и физиологических механизмов организации и регуляции движений [3].

В рамках этого направления разработаны блок-схемы организации и контроля движения по принципу сервомеханизма, организации двигательного поведения и двигательной координации, циклической структуры организации движений и потока управляющей информации при регуляции произвольных движений. Однако эти схемы имели больше познавательный и описательный характер, чем практическое значение, ибо не располагали конкретными экспериментальными основаниями к демонстрации содержания и композиции динамических составляющих моторного состава действия.

Современные представления об организации сложных двигательных действий

В основе современных представлений об организации и регуляции сложных двигательных действий человека и животных лежат два фундаментальных принципа: принцип цикличности механизма управления движениями и принцип сенсорного (афферентного) синтеза, не-

необходимого для осуществления желаемого эффекта обратной связи (biofeedback). Идея этих принципов была намечена И.М. Сеченовым еще в конце прошлого столетия, предугадавшим роль проприорецепторики в управлении движениями человека и высших животных, и обрела затем окончательную формулировку и экспериментальное обоснование в 30-е годы (то есть задолго до рождения кибернетики) в работах Н. Бернштейна [3] и П. Анохина.

В соответствии с этими принципами осуществление координации движений возможно только в том случае, если центральная нервная система имеет полную и исчерпывающую информацию о том, что происходит на периферии. Причем все сигналы из внешнего мира и внутренней среды организма неизбежно должны пройти стадию сенсорного синтеза. И только после этого вырабатывается командное решение (эффекторный импульс), вызывающее или корректирующее движение.

Таким образом, кольцевое управление движениями (действиями, поведением) предполагает наличие аппарата, который отличает программу движения с ходом его фактического выполнения и, в случае необходимости, вносит в работу мышечной периферии необходимые коррекции. Здесь, однако, следует заметить, что кольцо — это лишь физическое воплощение каналов связи в организме. Поскольку каждый информационный цикл качественно отличается от предыдущего прежде всего тем, что приближает движение к целесообразному пределу, то более правильно говорить не о кольцевом, а о спиральном принципе оформления осведомительно-командной информации [1, 2].

Физиологически кольцо управления представляет замкнутый цикл информации (рис.1): мозг — центробежные нервы — мышцы — проприорецепторы — центростремительные нервы —

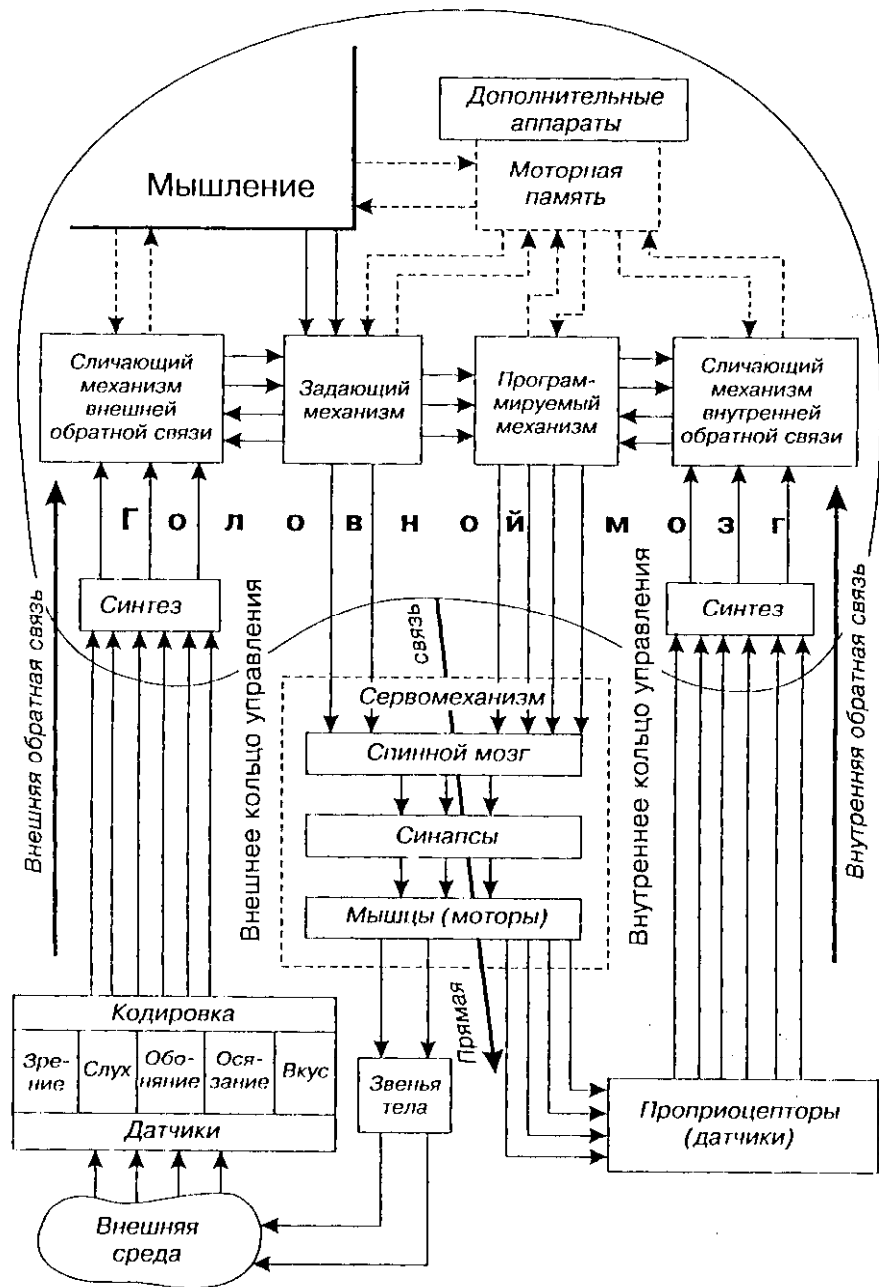


Рис. 1. Схема кольцевой регуляции произвольных движений человека

мозг, в котором участком прямой связи будет: мозг — мышцы, а обратной связи — мышцы — мозг. Этот информационный цикл разделяется на два кольца: внешнее и внутреннее. Внешнее кольцо включает прямую связь и внешнюю дугу обратной связи по зрительным, слуховым, обонятельным и тактильным рецепторам, имеющим смысловую афферентацию и непосредственно связанным с восприятием внешнего мира. Внутреннее кольцо вклю-

чает прямую связь и внутреннюю дугу обратной связи по проприорецепторам, непосредственно не связанным с нашим сознанием. Внешнее кольцо осуществляет контроль за смысловой частью движения, а внутреннее — за синергетическими автоматизмами.

Предполагается, что во внешнее кольцо управления информация о ходе конкретных синергетических деталей движения не поступает, так как обратной связью с отдельными мышечны-

ми единицами оно не связано. Это, а следовательно, и контроль за такими деталями, естественно, возлагается на низшие отделы центральной нервной системы, которые, входя во внутреннее кольцо управления, как раз и имеют необходимые пути. Во внешнее кольцо может попасть только какой-то суммированный сигнал.

Обрисованная выше в общих чертах схема кольцевой регуляции движения предполагает наличие в центральной нервной системе программирующего и задающего механизмов (см. рис. 1). Сегодня еще нет точных данных, полностью освещающих их функционирование при освоении и регулировании произвольных движений. Исключение составляют, пожалуй, работы Н. Бернштейна. Базируясь на объективных материалах клинического изучения органических поражений мозга, связанных с выпадением тех или иных двигательных функций, он выделил пять помещающихся друг над другом уровней построения и регулирования движений. Каждый из них

имеет свою функцию, локализацию и, что важно подчеркнуть, — афферентацию. Эти уровни функционально субординированы (соподчинены): высшие выполняют роль ведущих, а низшие — фоновых (таблица).

Высший кортикальный уровень (Е), управляющий высшими символическими координациями, относится к сознательному мышлению. Его афферентация не связана с внутренним кольцом обратной связи и целиком зависит от внешнего кольца. Он всегда играет роль ведущего уровня и присущ, по-видимому, только человеку.

Уровень D (предметного действия) решает смысловую задачу движения, составляет связные цепочки движений. Афферентация этого уровня состоит из обобщенного синтеза качественного характера, слагающегося из внешних и внутренних данных, т.е. идет по обоим кольцам. Роль как фонового — очень незначительная, но ведущего — довольно обширная, захватывающая почти все автоматизированные смысловые движения.

Уровень С производит некоторую дифференциацию движения и разделяет его на элементы, коими могут быть наиболее часто встречающиеся в жизни движения, например, простейшие автоматизированные локомоции. Отсюда этот уровень может играть как самостоятельную ведущую, так и фоновую роль и иметь сложную переработанную афферентацию, связанную как с внешним, так и внутренним кольцом.

На уровень В (синергий) выпадает задача управления синергиями. Но поскольку это больше связано непосредственно с мышечным аппаратом, то и афферентация этого уровня зависит от проприорецепции.

Наиболее низким уровнем в регулировании движений является уровень А, управляющий такими элементами движений, как мышечный тонус и хронаксия. Этот уровень, как и предыдущий, может быть только фоновым, и в соответствии с этим, имеет только внутреннюю афферентацию.

Взаимоотношения между уровнями в случае регулирования

Таблица
Уровни построения движений

Обозначение	Уровень	Основная функция	Возможная локализация	Афферентация
Е	Высший кортикальный	Управление высшими символическими координациями (речь, письмо и пр.)	Передняя кортикальная часть полушарий	Сложная смысловая
Д	Предметного действия	Решение смысловой задачи движений Составление связных цепочек движения Движение с предметом	Теменные доли и премоторные поля полушарий	Телерецепторная
С	Пространственного поля	Перемещение тела в пространстве	Гигантопирамидное поле Полосатое тело	Синтетическое пространственное поле (переработанная теле- проприо- и тангорцепторика)
В	Синергий	Управление синергиями мышечных групп Борьба с реактивными силами Создание динамически устойчивого движения	Зрительные бугры Бледные тела	Проприоцепторная и тангорцепторная
А	Низший	Регулировка тонуса мышц Управление хронаксией	Группа красного ядра Спинной мозг	Проприоцепторная

освоенного движения протекает в условиях субординации в их функционировании, то есть высший уровень руководит деятельностью низшего. Цель такой субординации — правильное распределение ролей между уровнями с тем, чтобы каждый из них выполнял задачу, наиболее отвечающую его афферентным возможностям. Высшие уровни не имеют полноценной обратной связи с мышечной периферией и, следовательно, не могут осуществлять соответствующий контроль за конкретными деталями движения. С другой стороны, низшие уровни, не решающие смысловой части движения, не могут включиться в него самостоятельно — для этого требуется деятельность высших уровней. Поэтому, если выполняется незнакомое движение, то вследствие неподготовленности низших уровней управление им падает целиком на высшие уровни (большой частью, на самые высокие), которые, естественно, вынуждены осуществлять контроль за конкретными деталями движения в самой примитивной форме.

Когда движение будет достаточно освоено, на низшие уровни переложатся все свойственные им задачи, а высшие уровни освободятся от несвойственных им задач, и движение будет протекать более правильно. Автоматизированным двигательным навыком можно считать такой, при котором фоновые уровни окончательно освоили свои задачи и вмешательство ведущих уровней становится не только излишним, но, зачастую, даже вредным.

Психомоторная структура сложного двигательного действия

Двигательное действие — это упорядоченная в пространстве и времени система операций (отдельных движений), ориентированная на достижение конкретной цели. Реализация такой системы в условиях активной деятельности человека представляет

собой **процесс решения двигательной задачи**. В условиях спортивной деятельности двигательные действия **сложно организованы**. Они выполняются, как правило, на высокой скорости, с проявлением значительных (и обычно предельных) усилий, требуют (всегда) очень тонкой координации и мощного энергообеспечения [2].

Каждому виду спорта присущи свои особенности выполнения двигательного действия, обусловленные его целевой направленностью, внешними условиями и правилами соревнований. Вместе с тем, несомненно, существуют и общие принципы, определяющие критерий целесообразности в организации и совершенствовании движений в каждом конкретном случае. Это означает, что, поняв, как организовано и как реализуется спортивное действие, можно всегда сделать правильный вывод о том, как его осваивать и совершенствовать.

Любое целенаправленное двигательное действие всегда организуется **осознанно**, реализуется и корректируется в соответствии с его **целевой предназначенностью** и с учетом **моторных возможностей** исполнителя. Например, гимнаст

задается целью освоить новый трудный элемент. Он детально осмысливает форму его выполнения и определяет его роль и связь с другими элементами в целой комбинации. Наконец, он оценивает свои физические возможности (например, достаточно ли у него силы для выполнения задуманного элемента) и после этого приступает к тренировке.

Единство целевого, смыслового и моторного компонентов составляет **психомоторную структуру двигательного действия** (рис. 2), выступающую как механизм достижения цели и в то же время как установка на организацию тренировочного процесса и как критерий оценки его эффективности. Схема, приведенная на рис. 2, содержит лишь основные составляющие психомоторной структуры действия. Она не включает такие гипотетические элементы нейрофизиологического механизма, как программирующий и сличающий аппараты, моторная память, аппарат сенсорного синтеза и другие подобные элементы, которые, руководствуясь известными принципами кибернетики, можно легко изобразить в виде "блоков" и соединить стрелками прямой и обратной связи. Тем не менее, наличие таких функцио-

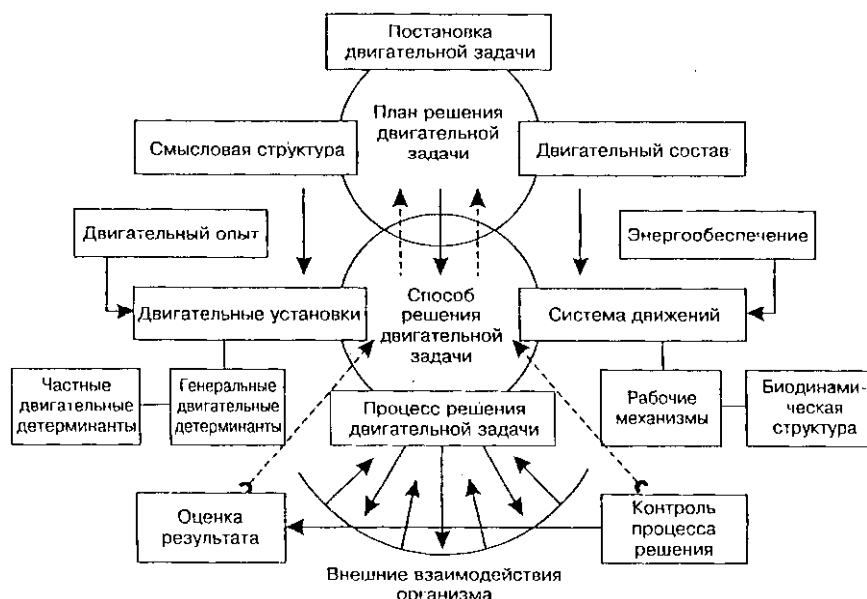


Рис. 2. Психомоторная структура сложного двигательного действия

нальных единиц признаётся, — пользуясь языком компьютерной технологии, — “по умолчанию”, во-первых, поскольку их функция достаточно убедительно угадывается при внимательном анализе движений и, во-вторых, их функциональная структура достаточно наглядно была представлена на рис. 1.

Таким образом, задача схемы (см. рис. 2) предусматривает психолого-педагогическое выражение нейробиомеханического аспекта представлений об организации сложного двигательного действия и, используя известные каждому профессиональному тренеру понятия, предлагает её в виде наглядной рекомендательной информации к решению практических (методических) проблем системы тренировки спортсменов.

Итак, процесс реализации целенаправленного сложного двигательного действия включает следующие операции (см. рис. 2): постановка двигательной задачи — выбор плана и способа ее решения — процесс решения двигательной задачи — оценка его результата. Все эти операции могут быть объединены в три последовательные фазы: подготовительную, исполнительную и оценочную [2].

Подготовительная фаза предусматривает идеальное (мысленное) моделирование (предвосхищение) процесса реализации двигательного действия, включающее формирование плана и определение способа решения двигательной задачи.

План решения двигательной задачи. План — это предварительный проект общей организации и последовательности реализации двигательных операций с учетом внешних условий, сопутствующих решению двигательной задачи и доступных организму моторных ресурсов. Это — мысленный образ предстоящего движения, который формируется под влиянием внутренних побуждений индивида и внешней информа-

ции и является функцией сознания.

План определяет в общих чертах пространственно-временную организацию двигательного действия, обеспечивающую решение двигательной задачи в соответствии с его целевой направленностью, а также с анатомическими, моторными и энергетическими возможностями организма. Он включает в себя в качестве функциональных компонентов смысловую структуру и проект двигательного состава, привлекаемого для решения двигательной задачи.

Смысловая структура — это идеально планируемый и контролируемый компонент действия, выражающий содержание двигательной задачи и целевую (преимущественную) направленность в организации действия. Смысловая структура исчерпывающе и однозначно определяет, что надо сделать для того, чтобы успешно решить двигательную задачу.

Например, цель, которую ставит перед собой прыгун в длину — прыгнуть как можно дальше. Отсюда смысловая структура предусматривает такую организацию спортивного действия (прыжка в длину с разбега), которая должна обеспечить достаточную горизонтальную скорость перемещения тела спортсмена в разбеге и достаточную мощность работы мышц толчковой ноги, чтобы повернуть вектор этой скорости на необходимый угол (рис. 3). Иными словами, главное в прыжке — быстрее разбежаться и сильнее оттолкнуться. При этом следует иметь в виду, что боль-

шую часть времени толчка результирующий вектор реакции опоры направлен навстречу движению прыгуна (рис. 3), чем и объясняется отрицательный наклон вектора вертикальной скорости (V_y) в толчке и потеря горизонтальной скорости (V_x) разбега.

Двигательный состав — это конкретное моторное содержание действия, комплекс основных операций и мышечных синергий, необходимых для его осуществления и определяющих суть вопроса: каким образом надо решать двигательную задачу?

Если продолжать использовать в качестве примера двигательного действия прыжок в длину, то очевидно, что здесь имеется в виду конкретный способ его выполнения (разбег, толчок, движения в полетной фазе, приземление и пр.), то есть то, что исчерпывающе изложено в любом учебнике по легкой атлетике.

Способ решения двигательной задачи предусматривает содержательную конкретизацию смысловой структуры и двигательного состава действия с формированием двигательных установок и системы движений.

Под **системой движений** имеется в виду упорядоченное на основе решаемой двигательной задачи взаимодействие одновременных и последовательных перемещений звеньев тела. Главный смысл понятия системы в данном случае заключается во взаимосвязанности отдельных движений, превращающих их в монолитное образование, обеспечивающее возможность полноценного использования моторного потенциала человека.

Организация системы движений предусматривает выбор и эффективное использование рабочих механизмов локомоторного аппарата, а также совершенствование координации нервно-мышечных усилий и формирование целесообразной биодинамической структуры двигательного действия. В связи с особой ролью

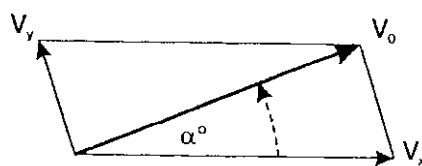


Рис. 3. Схема, иллюстрирующая поворот вектора горизонтальной скорости разбега (V_x) в толчке на необходимый угол (α°) в прыжке в длину. V_y — вертикальная скорость прыгуна, создаваемая в толчке, V_0 — начальная скорость вылета

понятия биодинамической структуры для теории спортивной тренировки, рассмотрим ее несколько ниже и более подробно [2].

Рабочие механизмы тела — это функциональные составляющие локомоторного аппарата, обеспечивающие организму механическую энергию движения и вместе с тем эффективное использование ее в интересах решаемой задачи и в соответствии с сопутствующими внешними условиями. К числу основных рабочих механизмов тела относятся:

Тяговое усилие мышц как основной источник механической энергии движения тела человека.

Мышечные синергии — согласованные усилия мышц на уровне отдельного сустава и рабочего аппарата в целом, вызывающие движение системы звеньев в определенном направлении.

Элементарные двигательные и познотонические (установочные) рефлексы, представляющие собой простейшие врожденные двигательные механизмы универсального назначения.

Упругие свойства мышц, обеспечивающие повышения рабочего эффекта за счет использования дополнительной упругой (неметаболической) механической энергии их растяжения в подготовительных фазах движения.

Рациональная последовательность включения в работу мышц с различными функциональными свойствами, осуществляющих движения кинематических цепей.

Тонус мышечной системы — это есть состояние готовности мышц, текущая физиологическая настройка и организация мышечной периферии к позе или предстоящему движению.

Под биомеханически целесообразным следует понимать такой комплекс (систему) движений, который организован в соответствии с анатомо-функциональными особенностями моторного аппарата и позволяет с максимальной эффективностью использовать присущие ему рабо-

чие механизмы в конкретных условиях решаемой двигательной задачи. В процессе ее решения рабочие механизмы определенным образом взаимодействуют и в результате систематической тренировки объединяются в рационально функционирующую систему, обеспечивающую высокий рабочий эффект всего двигательного комплекса.

Рабочие механизмы сложились и наследственно закрепились в течение длительной эволюции двигательного аппарата человека. Спортивная тренировка не добавляет к ним ничего нового, она лишь доводит их до высокого уровня функционального совершенства и повышает энергетический потенциал.

Двигательные установки. Смысловая структура как функциональный компонент плана решения двигательной задачи конкретизируется в двигательных доминантах, составляющих содержание двигательных установок спортсмена (см. рис. 2).

Понятие “установка” выражает имеющуюся у субъекта готовность к действию, восприятию и оценке ситуации, в силу которой поведение его направляется по заранее разработанному плану. Применительно к условиям спортивной деятельности используется понятие “двигательная установка”, рассматриваемое как психологическая настройка, готовность спортсмена к предстоящей деятельности и мобилизующая его на реализацию преимущественной направленности действия. Например, двигательной установкой, настраивающей прыгуна в длину на главную целевую направленность его действия при выполнении прыжка, может выглядеть следующим образом: “быстрее в разбеге, сильнее в толчке”.

Следует различать генеральные двигательные детерминанты, представляющие собой инвариантное выражение преимущественной направленности действия, и частные двигательные

детерминанты, выражающие текущие задачи управления двигательным составом действия, связанные или с его коррекцией или с частичными перестройками. Примером генеральной двигательной детерминанты прыгуна в длину является упомянутая выше целевая установка на преимущественную направленность действий в прыжке. Что касается частных двигательных детерминант, то их может быть так много, что не имеет смысла пытаться их перечислить.

Генеральные двигательные детерминанты остаются неизменными при повторном воспроизведении действия. Частные двигательные детерминанты могут изменяться от повторения к повторению в зависимости от текущих задач, которые решаются в процессе упражнения.

Формирование двигательных установок и умение сознательно использовать их в учебно-тренировочном процессе базируются на двигательном опыте спортсмена, его способности оценивать и анализировать свои действия.

Энергообеспечение системы движений. Формирование, эффективное использование и совершенствование системы движений связаны с повышением их энергообеспечения.

Спортивные действия требуют от человека огромных мышечных напряжений или повторного воспроизведения меньших по величине усилий в течение относительно длительного времени. Поэтому механизмы энергообеспечения, их мощность и ёмкость имеют важное значение для организации и эффективной реализации спортивного действия. Следует различать понятия “механическая энергия тела” и “энергия мышечного сокращения”. В первом случае энергия — это “запас скорости” (работоспособности) тела или звеньев, изменяющийся вследствие работы мышц. Во втором случае — процесс освобождения энергии химических связей, реализующий механический акт —

сокращение и механическую тягу мышц, вызывающих движение.

Рабочий эффект двигательного акта — результат взаимодействия механической энергии тела, энергии мышечного сокращения и эластической энергии деформированных мышц. Его величина определяется прежде всего энергией мышечного сокращения, или, иными словами, биоэнергетическим потенциалом организма. Однако эффективность действия в целом и экономичность работы обеспечиваются умением спортсмена рационально использовать все указанные выше энергетические источники движения.

Например, для дальности полета в прыжке в длину используется, прежде всего, механическая энергия тела, приобретаемая в разбеге. В толчке происходит поворот вектора горизонтальной скорости в вертикальном направлении за счет энергии сокращения мышц разгибателей опорной ноги и эластической (упругой) энергии, аккумулированной растягиваемыми мышцами в фазе амортизации (рис. 4). Эффективность техники прыжка определяется умением атлета выполнить отталкивание так, чтобы обеспечить необходимый угол вылета тела, но потерять при этом как можно меньше гори-

зонтальной скорости и сохранить равновесие в полетной фазе.

Исполнительная фаза двигательного действия представляет собой собственно процесс решения двигательной задачи, то есть процесс активного и целенаправленного взаимодействия человека с объектами внешнего окружения. Конечным продуктом такого взаимодействия является спортивный результат.

Двигательное действие — поведенческий акт, имеющий сложную нейрофизиологическую организацию. Его реализация связана с избирательным объединением рабочих механизмов локомоторного аппарата в функционально целесообразную систему, обеспечивающую процесс движения в соответствии с его целевой установкой и планом решения двигательной задачи. Системообразующим фактором в данном случае выступает нервно-мышечная координация, функция которой выражается в упорядочении мышечных сокращений (активности отдельных мышц) таким образом, чтобы совершаемое движение точно следовало надлежащей траектории.

В области спорта с помощью электромиографии (ЭМГ) накоплен большой фактический материал, характеризующий нервно-мышечную координацию различных по своей организации двигательных действий с точки зрения последовательности включения и выключения мышц, их взаимодействия, длительности периодов ЭА и ее связи с кинематическими и динамическими характеристиками движения. Наглядное представление о пространственно-временной структуре мышечной координации при выполнении сложного двигательного действия дает схема организации электрической активности (ЭА) 12 групп мышц при выполнении рывка штанги до момента ее фиксации на выпрямленных руках в подседе (рис. 5). Не вдаваясь в детальный анализ, представляющий ин-

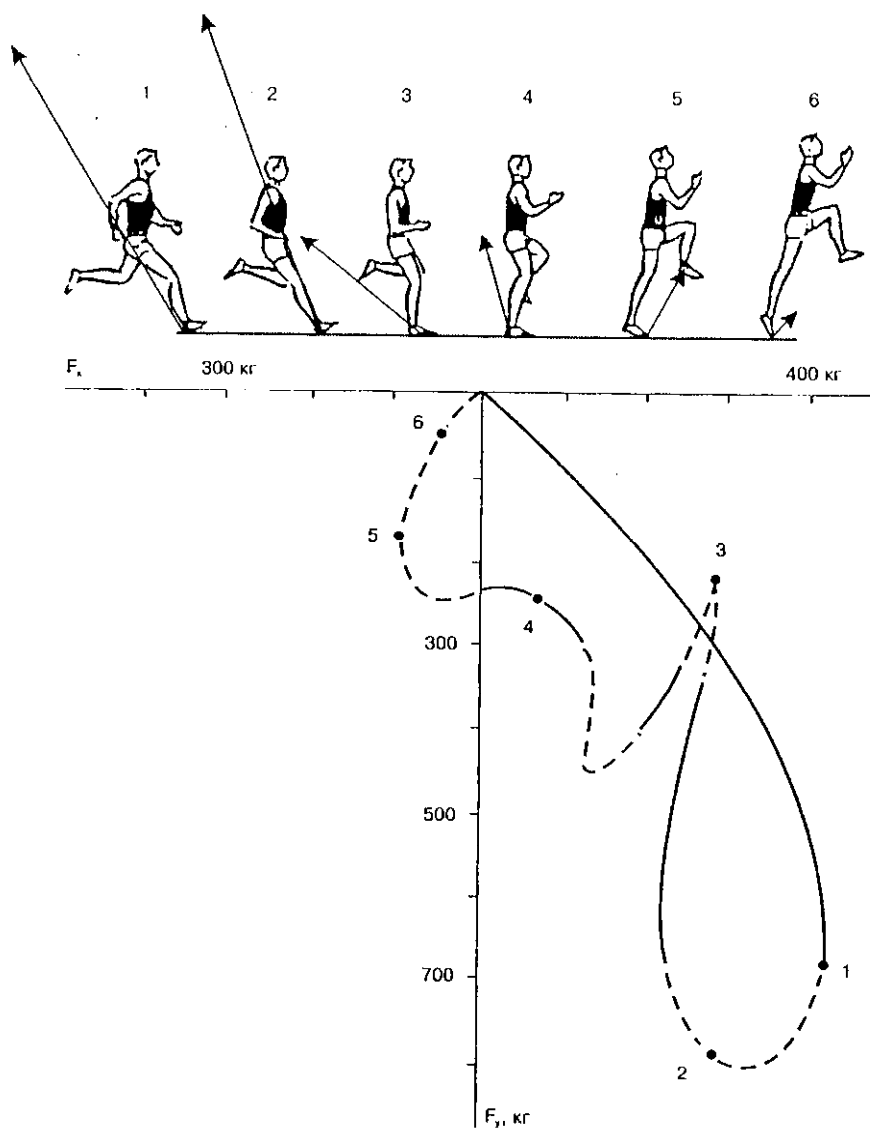


Рис. 4. Вектор-динамограмма взаимодействия спортсмена с опорой в толчке при прыжке в длину. Стрелками показаны векторы равнодействующей реакции опоры (по И. Ратову, переработано)

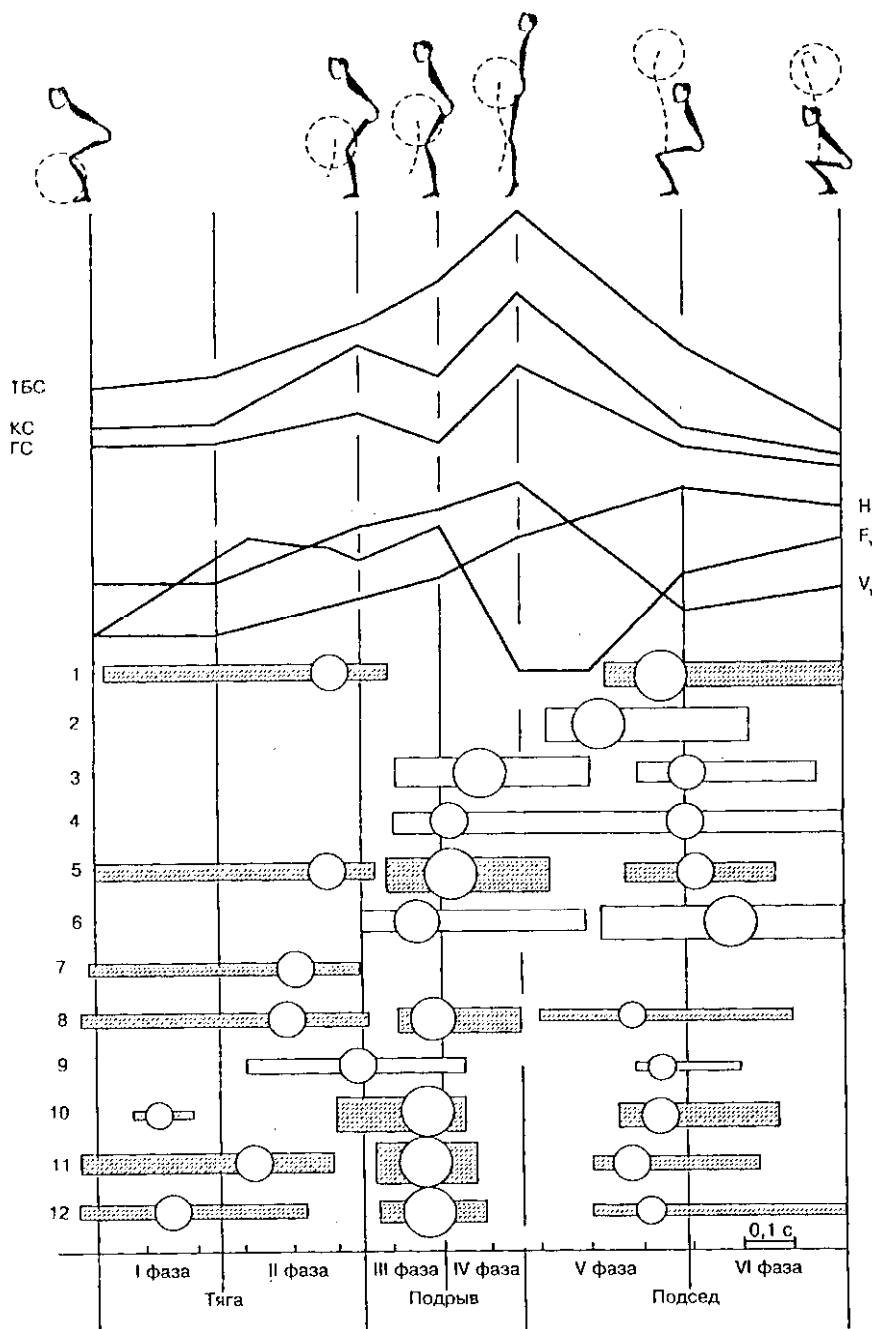


Рис. 5. Схема организации системы движений при выполнении рывка штанги. Суставные углы: ТБС — тазобедренный, КС — коленный, ГС — голеностопный суставы; Н — высота подъема штанги, F_y — вертикальная составляющая реакции опоры, V_y — вертикальная скорость перемещения штанги. Мышцы: 1 — трехглавая плеча, 2 — малый разгибатель пальцев, 3 — двуглавая плеча, 4 — дельтовидная, 5 — поверхностный сгибатель пальцев, 6 — трапециевидная, 7 — широчайшая спины, 8 — крестцово-остистая, 9 — двуглавая бедра, 10 — икроножная, 11 — четырехглавая бедра, 12 — камбаловидная. Светлые прямоугольники — мышцы, выполняющие функцию сгибателей; заштрихованные — функцию разгибателей. Кружки — моменты наибольшей амплитуды электрических осцилляций (по А. Лукашеву, 1972, переработано)

терес главным образом для специалистов в области тяжелой атлетики, обратим внимание на наиболее общие и существенные особенности организации ЭА мышц, хорошо видимые на схеме.

Прежде всего, очевидна определенная очередность включения мышц, одновременность, последовательность и согласованность их рабочей активности с типичным для баллистических движений реактивно-баллисти-

ческим [1] режимом работы. Отчетливо прослеживается последовательная "волна" (снизу вверх) включения мышц в работу и локализация во времени моментов наибольшей амплитуды осцилляций (кружки). Первыми включаются в работу мышцы ног, затем туловища и верхних конечностей. При хорошо освоенной технике рывка такой порядок строго фиксирован и стабильно воспроизводится при повторном выполнении упражнения. Пространственно-временное взаимодействие основных для данного движения мышечных групп, как правило, строго дозировано, обусловлено критерием биомеханической целесообразности выполнения движения и вырабатывается тренировкой. Для других групп мышц, принимающих участие в движении, включение в работу может носить вариативный характер.

Наиболее характерные перестройки композиции ЭМГ в результате тренировки выражаются в упорядоченности и количественном изменении (перераспределении) ЭА во времени и пространстве. Например, при выполнении скоростно-силовых упражнений у спортсменов высокой квалификации, по сравнению с менее квалифицированными, это проявляется (рис. 6) в увеличении общей ЭА и повышении синхронизации разрядов двигательных единиц мышечных групп, преимущественно обеспечивающих движение, концентрации ЭА различных групп мышц и укорочении ее длительности в наиболее ответственных фазах движения, в изменении длительности ЭА мышц-антагонистов, то есть укорочении в движениях баллистического типа и увеличении в точностных движениях и, наконец, в уменьшении вариативности всех параметров ЭМГ. С развитием утомления структура ЭМГ изменяется по сравнению с той, которая была характерна для начала занятия.

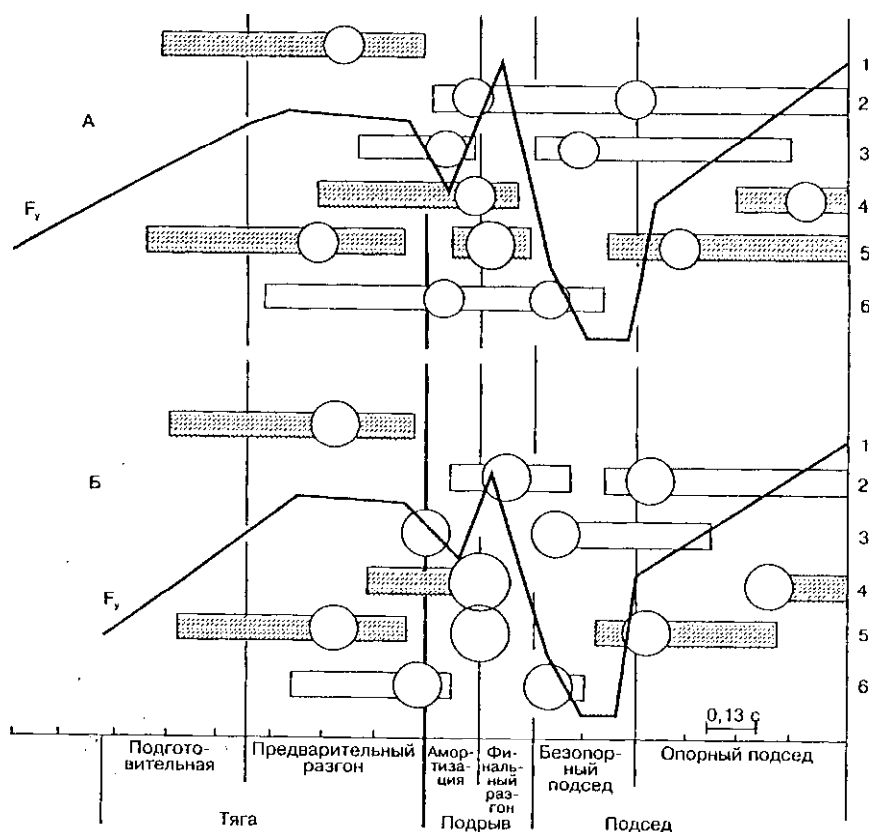


Рис. 6. Схема электрической активности мышц при подъеме штанги на грудь спортсмена-мужчины низкой (А) и высокой (Б) квалификации. F_y — вертикальная составляющая реакции опоры. Мышцы: 1 — трехглавая плеча, 2 — двуглавая плеча, 3 — передняя большеберцовая, 4 — икроножная, 5 — четырехглавая бедра, 6 — двуглавая бедра. Характеристики работы мышц — см. рис. 5 (по Б. Подливаеву, 1975, переработано)

Изменение координационной структуры в работе мышц в связи с утомлением особенно характерно для циклических видов спорта. На рис. 7 приведены схемы ЭА мышц в цикле педалирования в начале (I), середине (II) и непосредственно перед вынужденным отказом от напряженной мышечной работы большой интенсивности (III), выполняемой "до отказа", на велоэргометре классным спортсменом. Легко видеть существенное изменение нервно-мышечной координации и рисунка вертикальной составляющей усилий, прикладываемых к педали в конце работы.

Известно, что любой, даже простой двигательный акт может осуществляться при огромном числе различных сочетаний активности мышц. Однако в процессе тренировки налаживаются наиболее рациональные коорди-

национные отношения между отдельными группами мышц, привлекаемыми к осуществлению движения. И хотя эти отношения могут варьировать в определенном диапазоне, внешняя кинематическая структура, как интегральный показатель организованности спортивного действия, всегда более стабильна, чем координационная структура ЭА мышц.

Как правило, затруднение до определенной степени условий реализации движения уменьшает вариативность нервно-мышечной координации [1, 2].

Оценочная фаза. Оценка реализации сложного двигательного действия предусматривает контроль процесса решения двигательной задачи и общую оценку его результата. Такая оценка сопоставляется с параметрами способа и плана решения двигатель-

ной задачи (см. рис. 2), и в случае необходимости в них вносятся коррективы.

Двигательное действие выполняется на основе непрерывного сличения текущего отрезка движения со свежим следом от предыдущего. Одновременно с этим происходит опережение в микроинтервалах времени осуществляемого в данный момент двигательного акта, и установка его на последующий отрезок движений (феномен "опережающей преднастройки" по Н. Бернштейну). Однако при очень быстрых движениях сенсорная коррекция "следающего" типа становится затруднительной или даже невозможной.

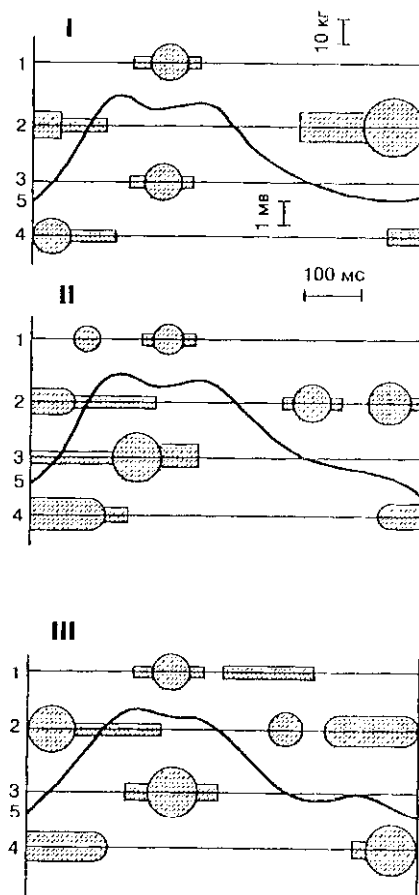


Рис. 7. Изменение электрической активности мышц при напряженной работе "до отказа" на велоэргометре: I — через 30 %; II — через 60 % времени общей продолжительности работы; III — непосредственно перед отказом от работы. Мышцы: 1 — передняя большеберцовая; 2 — наружная головка икроножной; 3 — двуглавая бедра; 4 — наружная головка четырехглавой бедра; 5 — вертикальная составляющая усилий на педали [2]

Дело в том, что любое произвольное и непроизвольное движение имеет импульсный дискретный характер, так как складывается из ряда кратковременных прерывистых ускорений с частотой 8–16 Гц, то есть с интервалами времени 0,07 — 0,12 с, причем периодические колебания ЭА мышц при рабочем напряжении имеют частоту около 10 Гц, что совпадает с альфа-ритмом биоэлектрической активности мозга. Отсюда минимальный интервал сличения текущей рецепции со свежим следом предшествующей ей рецепции составляет величину порядка 0,07 — 0,12 с [3] и, следовательно, на реализацию петли обратной связи при коррекции простого движения необходимо около 0,1 с.

Однако в условиях спортивной деятельности сложнейшие по координации скоростные двигательные действия совершаются в весьма короткое время. Например, длительность отталкивания в спринтерском беге составляет около 0,09 с, а в прыжке в длину — около 0,11 с. В таких условиях петля обратной связи просто не успевает сработать. Поэтому в подобных случаях важную роль приобретает так называемая предварительная (предварительная) коррекция как совершенный прием координирования, дающий центральной нервной системе возможность заранее учесть требуемую силу импульса в зависимости от состояния на периферии и его ближайшие перспективы. С помощью подобного рода коррекций совершаются все движения “с упреждением”, основывающиеся на экстраполяции складывающейся ситуации. Особое значение предварительная коррекция имеет для быстрых баллистических движений.

Главная роль в оценке процесса и результата решения двигательной задачи принадлежит сознательному анализу. Вместе с тем каждому спортсмену хорошо известно о принципиальной невозможности сознательной регу-

ляции процесса реализации двигательного действия во всех его многочисленных деталях. Но в этом и нет необходимости, поскольку природа нашего организма предусматривает решение этой проблемы. Не вдаваясь в детали, обратим внимание на два важных обстоятельства.

Во-первых, значительная часть простейших двигательных операций, составляющих сложное целенаправленное действие, осуществляется на основе врожденных, то есть имеющихся у организма готовых специализированных механизмов саморегуляции. Они автоматически включаются в двигательный состав действия и обеспечивают оптимальный режим функционирования рабочих механизмов тела. В сознательном контроле они нуждаются лишь на начальном этапе овладения двигательным действием. Во-вторых, сознательный контроль за всеми деталями системы движений необходим также лишь на начальном этапе обучения. Как только действие в целом осваивается, многие детали уходят из поля сознания, их исполнение автоматизируется, то есть целиком передается контуру саморегуляции, находящемуся на более низком уровне построения движения. Сознательный контроль возвращается к ним только в случае необходимости или периодически, для ревизии их деятельности.

Итак, подводя итог рассмотрению концептуальной модели психомоторной регуляции сложного двигательного действия, еще раз подчеркнем, что процесс формирования последнего осуществляется на основе поиска, оценки и отбора организмом оптимального варианта в сочетании осведомительно-командных сигналов, ведущих к эффективному решению двигательной задачи, а также фиксации этого сочетания механизмом моторной памяти.

В качестве реального и обусловленного практической необходимостью результата упорядо-

чения рабочей активности мышц в ходе тренировки выступает так называемая биодинамическая структура двигательного состава спортивного действия.

Биодинамическая структура сложного двигательного действия

Биодинамическая структура — это целесообразный устойчивый способ связи динамических элементов системы движений, превращающий последнюю в целостный и функционально конкретно специализированный рабочий механизм способа решения двигательной задачи [8]. Образно говоря, биодинамическая структура представляет собой “Жесткий силовой каркас” системы движений, определяющий ее пространственно-временные характеристики и рабочий эффект функционирования.

Биодинамическая структура является частью силового общего поля, то есть векторной совокупности всех внешних и внутренних по отношению к организму сил, возникающих в ходе решения им двигательной задачи. Если исходить из характера происхождения и направленности сил, можно выделить следующие составляющие силового поля.

1. Активные движущие силы, обязанные своим происхождением сократительной функции и механической тяге мышц.
2. Реактивные силы связи, или отраженные силы, возникающие как результат взаимодействия активных мышечных сил с непосредственным внешним окружением.
3. Аккумулятивные силы, накопленные мышцами как упругой системой в подготовительных фазах движений.
4. Силы инерции тела (или его звеньев).
5. Сила веса тела (или его звеньев).

Такая классификация составляющих силового поля несколько условна, ибо своим происхождением все они (кроме последней)

обязаны одному единственному источнику — мышечной силе человека. Но, возникая в процессе решения двигательной задачи, каждая из них определенным образом влияет на ее результат и поэтому должна учитываться при анализе динамического механизма системы движений.

Овладение сложным двигательным действием начинается с активного приспособления возможностей локомоторного аппарата (его рабочих механизмов) к тем условиям, которые сопутствуют процессу решения двигательной задачи. В силовом поле, возникающем при этом в результате взаимодействия внешних и внутренних по отношению к человеку сил, выделяются фазы концентрации активной и реактивной динамики. Вначале эти акцентированные элементы выражены слабо и располагаются в про-

странстве и времени неупорядочно, хаотично, при повторном воспроизведении действия их количественные значения и временные отношения варьируют в довольно широком диапазоне. Двигательное действие в целом неустойчиво, его рабочий эффект еще невелик и нестабилен.

Затем по мере приспособления к внешним условиям спортсмен находит пути более эффективного решения двигательной задачи. Формируется определенный устойчивый способ взаимодействия мышечных групп, о чем свидетельствует пространственно-временная структура электрической активности мышц (см. рис. 5 и 6). Это сопровождается дифференциацией и усилением динамических акцентов, четкой локализацией их во времени и пространстве и объединением их в определенную систему.

При повторном воспроизведении двигательного действия диапазон вариативности в количественных значениях и временных отношениях между ее элементами уменьшается. Происходит “сжатие”, концентрация такой системы во времени, она обретает устойчивость и обладает всеми признаками целостной структуры с определенными и конкретными причинно-следственными связями между ее элементами.

Все сказанное выше иллюстрируется примером формирования динамического механизма второго отталкивания в тройном прыжке с разбега. Графики на рис. 8 позволяют судить о характере развития и величине вертикальной составляющей реактивных сил, возникающих в проксимальных суставах при ускоренном перемещении маховых звеньев тела и их взаимодействии с работой опорной ноги. Обращает на себя внимание, что у квалифицированного спортсмена максимумы вертикальных ускорений масс маховых звеньев тела больше по абсолютной величине, чем у начинающего, и, что особенно важно подчеркнуть, совпадают во времени. Разгибание опорной ноги более активно и начинается сразу же после кратковременной концентрированной нагрузки на мышцы-разгибатели за счет реактивной динамики махов в конце фазы амортизации.

У начинающего спортсмена максимумы вертикальных ускорений маховых звеньев тела не согласованы между собой, и поэтому дополнительная нагрузка на опорную ногу за счет реактивных сил хотя и меньше по абсолютной величине, но действует более продолжительно. В результате разгибание опорной ноги затруднено. Оно начинается значительно позднее и при менее активном переключении мышц от уступающей работы к преодолевающей в конце фазы амортизации.

Таким образом, динамический механизм отталкивания можно

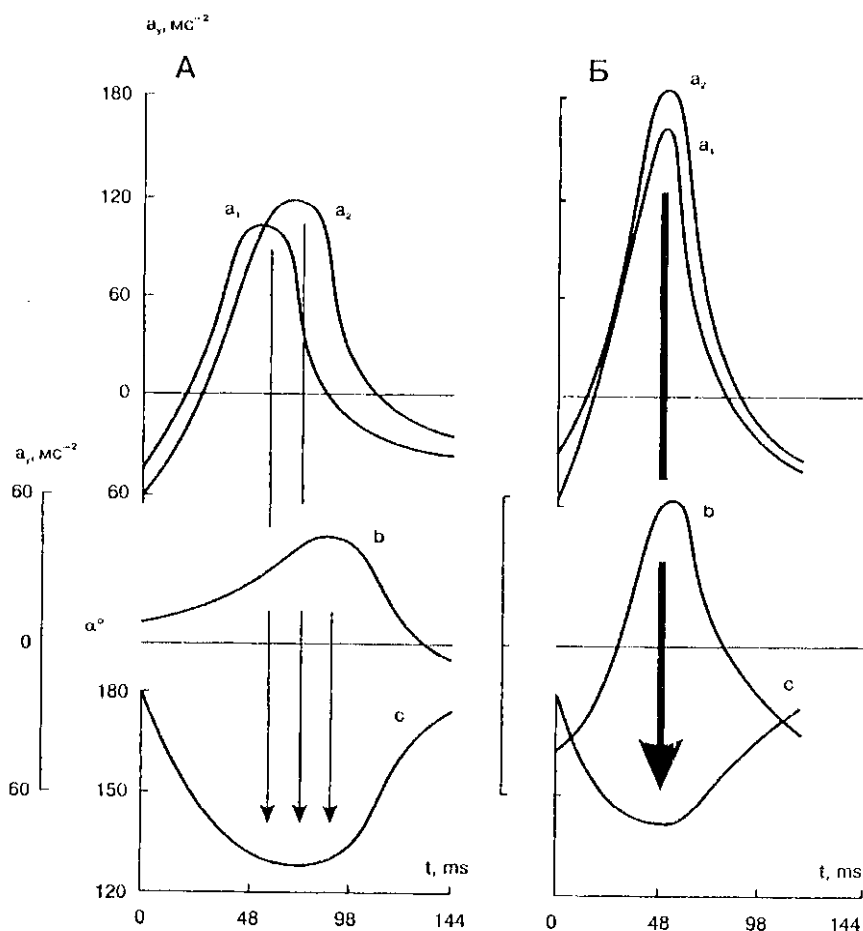


Рис. 8. Вертикальные ускорения масс правой (a_1) и левой (a_2) рук и маховой ноги (b), угол сгибания опорной ноги в коленном суставе (c) во втором отталкивании тройного прыжка у начинающего (А) и элитного (Б) спортсменов

представить в общих чертах следующим образом. С началом опоры в мышцах — разгибателях опорной ноги развивается упругое напряжение, которое к концу фазы уступающей работы достигает максимума и уравновешивает динамический вес тела. Дополнительная кратковременная нагрузка, возникающая в этот момент за счет реактивной динамики маховых движений, создает в мышцах избыточный (дополнительный) потенциал напряжения, что способствует более энергичному переключению их на преодолевающую работу. В результате, в фазе активного отталкивания тело получает большее ускорение, и рабочий эффект отталкивания возрастает [2].

Принцип формирования динамической структуры сложного двигательного действия в виде схемы представлен на рис. 9 примером второго толчка в тройном прыжке с разбега. Схема наглядно отражает “сжатие” биодинамической структуры и упорядочение во времени акцентов ее активной и реактивной динамики, а также соответствующие изменения в характере вертикальной составляющей реакции опоры.

Динамическая структура формируется в результате упражнения и является продуктом приспособления организма к специфическим условиям его внешних взаимодействий, критерий целесообразности которого определяется заданным результатом действия. В каждом конкретном случае она представляет собой единственно рациональный механизм, обеспечивающий эффективное использование реального моторного потенциала спортсмена в условиях решения данной двигательной задачи.

С формированием такой биодинамической структуры двигательное действие переводится на новый, более высокий качественный уровень, характеризующийся дальнейшим ростом его рабочего эффекта. Спортсмен начинает решать двигательную задачу бо-

лее экономно, овладевая умением акцентировать мышечные усилия и реактивные силы в тех фазах движения, где это наиболее целесообразно, и точнее соизмерять их с внешними силами и использованием упругой энергии, аккумулированной при растяжении мышц в подготовительных фазах движения. Теперь приспособление организма к внешним условиям достигает такой степени, когда, активно взаимодействуя с внешним окружением, спортсмен может с высокой эффективностью реализовать свой возросший моторный потенциал для решения двигательной задачи.

Следует отметить, что состав и количественные значения элементов, равно как и композиция динамической структуры двигательного действия в целом, детерминированы конкретными условиями, в которых решается двигательная задача. В качестве основного фактора, стимулирующего процесс формирования и совершенствования биодинамической структуры, выступает изменение характера взаимодействия с объектами внешнего взаимодействия и объектами внешнего окружения по мере активного приспособления организма к

данным условиям. Поэтому биодинамическая структура не является застывшим, раз и навсегда сформированным механизмом. Проявившись в общих чертах при первых же попытках решения двигательной задачи, она совершенствуется в направлении количественного усиления отдельных элементов, уточнения их расположения во времени и пространстве и, наконец, образно говоря, за счет выяснения отношений между элементами, то есть установления их соподчиненности (функциональной иерархии).

В отношениях между элементами системы движений характерны связи по типу корреляции и субординации. Первые проявляются в том, что любые изменения в количественных и временных параметрах одних отражаются на других, даже далеко отстоящих в пространстве и времени. Причем, если эти изменения выходят за пределы допустимого диапазона, может произойти искажение и даже разрушение биодинамической структуры. Взаимосвязь динамических акцентов по типу субординации проявляется в отчетливо выраженной доминантой роли динамических акцентов и

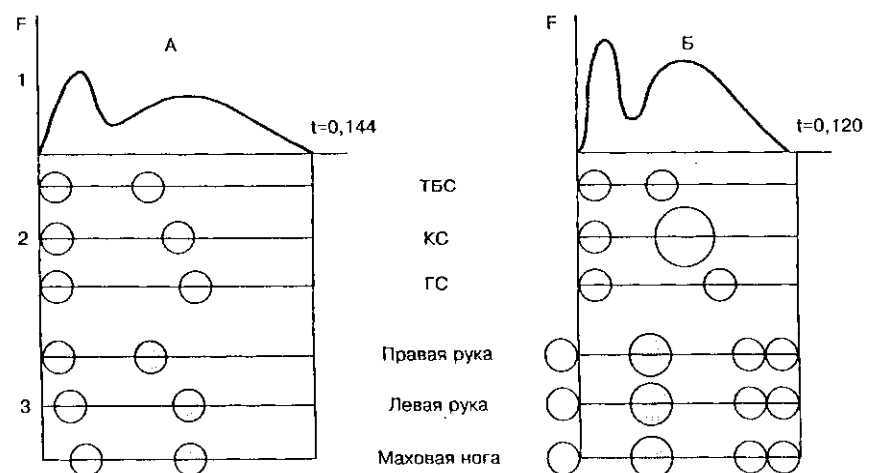


Рис. 9. Схема расположения акцентов активной и реактивной динамики в двигательном комплексе (второе отталкивание тройного прыжка). 1 — результирующая динамограмма, 2 — динамические акценты в работе мышц, обслуживающих тазобедренный (ТБС), коленный (КС) и голеностопный (ГС) суставы опорной ноги, 3 — акценты активной и реактивной (заштриховано) динамики маховых движений.
А — начинающий, В — квалифицированный спортсмены

подчинении всей их совокупности смысловому содержанию двигательного комплекса. Так, смысл отталкивания в прыжках с разбега сводится к повороту вектора скорости тела на необходимый угол. Поэтому доминантное значение приобретает акцентированный момент динамического усилия, связанного с разгибанием опорной ноги в коленном суставе. Остальные акценты активной и реактивной динамики играют подчиненную вспомогательную роль. Они обеспечивают создание благоприятных условий для количественного усиления главного акцента и, следовательно, повышения рабочего эффекта отталкивания в целом.

Следует подчеркнуть, что рассмотренный принцип динамической организации присущ любому сложному двигательному действию. Однако если в упражнениях ациклического характера, требующих проявления значительных усилий в минимальное время, в формировании и совершенствовании биодинамической структуры заключен весь смысл тренировки, то в упражнениях циклического характера, где требуется длительное сохранение работоспособности, биодинамическая структура формируется значительно быстрее, она композиционно гораздо проще, и смысл тренировки заключен преимущественно в совершенствовании функций, обеспечивающих повышение энергетического потенциала организма, необходимого для ее стабильного воспроизведения в условиях нарастающего утомления.

Некоторые заключения

Итак, рассмотренные выше особенности психомоторной и биодинамической структур сложного двигательного действия подсказывают необходимость уточнения некоторых традиционных понятий, сложившихся в теории спортивной тренировки практической методике специальной силовой подготовки спортсменов.

Понятие координации усилий.

Как уже говорилось выше, в качестве системообразующего фактора по отношению к активным усилиям и движениям человека выступает нервно-мышечная координация. Ее функция выражается в упорядочении активности отдельных мышечных групп так, чтобы совершаемое движение точно следовало надлежащей траектории. Однако в условиях спортивной деятельности почти каждое движение требует значительного силового обеспечения, что делает организацию двигательного состава спортивного действия исключительно сложным делом. Причем сложность заключается здесь не столько в чрезвычайной точности их координационного физиологического механизма, сколько в трудности его реализации в условиях значительных внешних и внутренних сопротивлений, которые встречает организм при выполнении спортивного упражнения. Здесь необходимо не просто рационально скоординировать движения в пространстве (что само по себе представляет известную сложность), но сделать это при высокой скорости и интенсивности усилий и в условиях значительного внешнего сопротивления и жестко лимитированного времени. Поэтому, говоря о координации и управлении движениями спортсмена, следует, прежде всего, иметь в виду не сами движения, то есть относительное перемещение звеньев тела, а *упорядочение внешних и внутренних по отношению к организму сил, возникающих при решении двигательной задачи.*

Иными словами, в условиях спортивной деятельности *координируются не столько движения, сколько усилия, вызывающие и регулирующие движения.* Это центральная суть понятия координации спортивных движений и центральная феноменологическая основа теории и методики обучения двигательным действиям вообще и в спорте особенно.

Понятие преимущественной направленности действия. Преимущественная направленность действия — это главный (целевой) инвариант организации системы движений спортивного упражнения. Например, в прыжке в длину существуют различные способы выполнения разбега, предтолчковых шагов, движений в полете и способов приземления, но главная целевая направленность (генеральная детерминанта или двигательная установка), как уже говорилось, одна единственная и неизменяющаяся — «быстрее в разбеге, сильнее в толчке».

Реализация преимущественной направленности действия является важнейшим принципом овладения и совершенствования спортивной техники, смысл которого может быть наглядно проиллюстрирован примером тройного прыжка с разбега. Как известно, скорость — главный фактор, обеспечивающий его результат. Поэтому повышение скорости — главная задача совершенствования техники прыжка. Для этого целесообразен прием выполнения в тренировке прыжка с полного разбега с прогрессивно возрастающей (от занятия к занятию) скоростью (рис. 10). Скорость разбега следует постепенно повышать, а внимание последовательно концентрировать на выполнении сначала шага, затем прыжка и, наконец, скачка. Не лишне подчеркнуть, что этот процесс должен сопровождаться соответственным повышением моторного (скоростно-силового) потенциала атлета [1].

Точно так же при совершенствовании техники и скорости метания диска вход в поворот выполняется на оптимальной скорости и затем она увеличивается к финальной части броска вплоть до максимально возможной. При этом контролируется ритмическая структура всего движения, правильность выпуска снаряда и угол его вылета. От занятия к занятию скорость метания следует

постепенно повышать и увеличивать мощность усилий в финале, контролируя технику и дальность броска.

Здесь важно заметить, что, следуя принципу реализации преимущественной направленности действия, целесообразно отдавать предпочтение известному в методике тренировки *целостному методу* обучения спортивным упражнениям. Этот метод чрезвычайно эффективен, во-первых, для овладения умением выполнять спортивное упражнение на высокой скорости ("принцип прогрессивно возрастающей скорости" [2]) и, во-вторых, для совершенствования биодинамической структуры спортивного упражнения.

При этом не следует увлекаться деталями движения, целиком полагаясь на организм, который сам найдет лучший (оптимальный) для себя способ детализации преимущественной направленности действия. Это врожденное свойство организма, которое надо хорошо использовать и не навязывать ему лишних деталей, которые лишь создадут помехи в поиске путей к овладению биомеханически целесообразной техникой спортивного упражнения.

Понятие спортивной техники. Спортивная техника обычно понимается как способ решения двигательной задачи или как система движения, организуемая для решения конкретной двигательной (спортивной) задачи и в ряде видов спорта строго определяемая правилами соревнований (например, в гимнастике, легкой атлетике, лыжном спорте и др.). Однако приведенные выше соображения убеждают, что такое понимание спортивной техники далеко не исчерпывает сущности этого понятия. Строго говоря, спортивная техника, выраженная конкретной системой движений, представляет собой не столько способ решения двигательной задачи, сколько саму двигательную задачу, которую надлежит решить

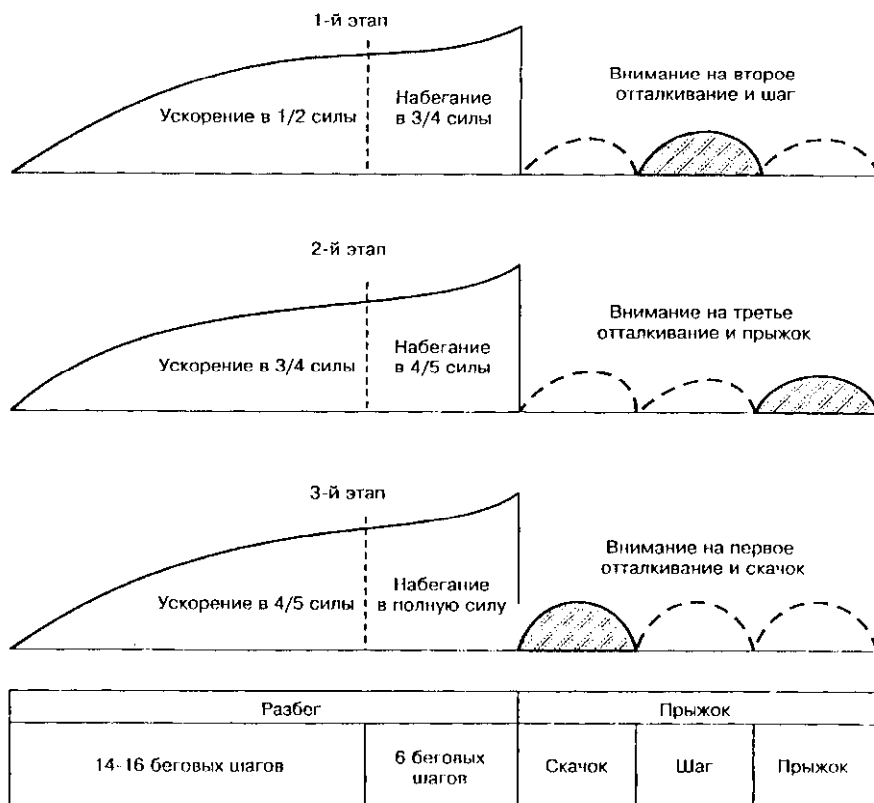


Рис. 10. Схема методической последовательности в совершенствовании техники выполнения тройного прыжка с разбега [2]

атлету каждый раз, когда он выполняет спортивное упражнение.

Важно также обратить внимание на то, что понятие спортивной техники подразумевает не только умение спортсмена координировать движения и усилия, но и его способность эффективно воспроизводить соответствующую биодинамическую структуру спортивного упражнения в экстремальных условиях, а именно:

- при значительной перегрузке или большом внешнем сопротивлении;
- на предельной скорости;
- при нарастающем утомлении;
- в изменяющейся ситуации.

Спортивная техника — это постоянно изменяющийся, совершенствующийся элемент спортивного мастерства. Такое совершенствование может быть плодотворным и эффективным только в том случае, если оно предусматривает формирование биомеханически целесообразной системы движений и адекватной

биодинамической структуры, требующихся для реализации преимущественной направленности спортивного действия. Следовательно, в идеально организованном тренировочном процессе работа над техникой должна строиться с учетом наличного моторного потенциала спортсмена и планируемой величины его повышения, а специальная физическая подготовка должна заранее предусматривать и энергетически обеспечивать изменения в технике, объективно необходимые для прогресса спортивного мастерства.

Понятие спортивно-технического мастерства. Спортивно-техническое мастерство — это способность (умение) атлета эффективно использовать свой моторный потенциал в условиях спортивной деятельности.

Принципиальный смысл этого понятия исходит из известной закономерности процесса

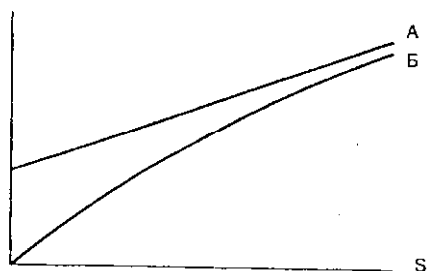


Рис. 11. Тенденции в динамике уровней специальной физической (А) и технической (Б) подготовленности атлета относительно спортивного результата (S) в ходе многолетней тренировки [1]

становления спортивного мастерства [1, 2], в соответствии с которой рост спортивного результата (S) обеспечивается преимущественно двумя факторами (рис. 11): повышением уровня специальной физической подготовленности атлета (А) и его умением так организовывать движения в соревновательном упражнении, чтобы как можно полнее реализовать свои растущие двигательные возможности (Б).

Следовательно, неуклонное повышение моторного потенциала и совершенствование способности к целенаправленному и эффективному его использованию посредством конкретной системы движений представляется как ведущий инвариант тренировочного процесса, а степень полноты ис-

пользования моторных возможностей — как один из критериев его эффективности [1, 2].

Отсюда *спортивно-техническое мастерство* — это не состояние, которое может быть достигнуто однажды, а *текущий результат непрерывного и нескончаемого процесса движения от менее совершенного к более совершенному*. Поэтому суть совершенствования технического мастерства в процессе многолетней тренировки заключается в постоянном поиске и освоении рациональных двигательных приемов, позволяющих наилучшим образом использовать растущий моторный потенциал как в условиях тренировки, так и в соревнованиях.

Таким образом, вопрос: что важнее (или что главное) в подготовке спортсмена — техника или физическая подготовка — неправилен. *Специальная физическая подготовка всегда должна опережать работу над техникой, подготавливая базу для ее совершенствования.*

Совершенствование технического мастерства и специальной физической подготовленности — тесно взаимосвязанные и взаимообусловленные составляющие многолетней системы подготовки спортсмена. Режим работы организма в условиях тренировки и

соревнований должен определять содержание, направленность и величину его морфофункциональной специализации. В то же время повышение моторного потенциала спортсмена должно быть конкретно ориентировано на дальнейшее совершенствование технического мастерства.

Такое требование, возведенное в неукоснительный принцип и обеспеченное соответствующей организацией тренировочного процесса, исключит возможность возникновения противоречий между специальной физической и технической подготовкой. Вместе с тем, на современном этапе оно должно стать главным критерием рациональности организации тренировочного процесса.

1. *Верхошанский Ю.В.* Основы специальной подготовки в спорте. — М.: Физкультура и спорт, 1977. — 215 с.

2. *Верхошанский Ю.В.* Основы специальной физической подготовки спортсменов. — М.: Физкультура и спорт, 1988. — 331 с.

3. *Бернштейн Н.А.* Очерки по физиологии движений и физиологии активности /Акад. мед. наук СССР. — М.: Медицина, 1966. — 349 с.

4. *Донской Д.Д.* Законы движений в спорте. Очерки по теории и структуре движений. — М.: Физкультура и спорт, 1968. — 176 с.