

Теоретические основы точности движений

Аннотация:

В статье рассмотрены биомеханические основы точности движений, определено её место среди физических качеств и способностей человека, обоснованы принципы её воспитания.

Ключевые слова:

Точность движений, особенности проявления, физическое качество, принципы воспитания.

Постановка проблемы и анализ предшествующих публикаций. Преобладание в мировой науке интереса к проблемам энергетики, значительные успехи в области преобразования различных видов энергии не могли не привести к возрастанию значимости вопросов управления, результатом и подтверждением этого стало рождение новой науки – кибернетики. Данный процесс нашёл отражение и в эволюции направлений исследований наук о человеке – период концентрации внимания на вопросах обмена веществ, пищеварения, дыхания, вегетативных функций внутренних органов в *физиологии*, исключительно механических явлениях, их характеристиках и причинах в *биомеханике*, проявлении и воспитании таких качеств человека как сила, быстрота, выносливость и гибкость в *теории физического воспитания* постепенно замещается периодом возрастающего интереса к основам регуляции основных процессов жизнедеятельности в *физиологии*¹ и управления движениями в *биомеханике*, к специфике проявления и воспитания координационных способностей и точности движений в *теории физического воспитания*.

Большое значение для актуализации проблем точности имеет рост популярности новых видов спорта (дартс, керлинг и др.) и возникновение профессий (в особенности связанных с управлением быстротекущими процессами, быстро движущимися машинами и механизмами), эффективность двигательной деятельности которых прямо зависит от точности движений. Это характеризует возрастающие потребности практики в разработке соответствующих теоретических положений, что и определяет **проблему** исследования.

В теории и методике физического воспитания и спортивной тренировки, биомеханике сложилось положение, которое характеризуется тем, что, *во-первых*, с одной стороны, точность идентифицируется с меткостью [6], с соответствующим набором принципов и базирующихся на них методов и средств воспитания, что приводит к неоправданно широкому их обобщению. С другой стороны, для воспитания точности движений часто предлагаются средства и методы, не имеющие теоретического обоснования, отобранные на основе внешнего сходства с профессиональным или спортивным движением, эффективность которого предполагается

повысить, часто воздействуя не на точность, как способность человека, а на сопутствующие физические способности, влияющие на проявление точности в конкретном целостном движении [18, 32 и др.].

Во-вторых, биомеханическая сущность точностных двигательных действий изучалась в русле двух методических подходов. Её внешняя (механическая) составляющая получила наиболее полное освещение в связи с изучением реальных двигательных действий из практики профессиональной и спортивной двигательной деятельности [1, 6, 7, 8, 12, 15, 17]. Биологическая же сущность точностных движений в большинстве подобных работ оказывалась вне поля зрения исследователей. В то же время ещё Н.А. Бернштейн [4] убедительно показал, что для описания функционирования биологического, живого объекта «кроме вопросов «как» и «почему», исчерпывающе достаточных в физике или в химии, необходимо добавить ещё третий вопрос: «для чего»? Наоборот, информационная структура точностных двигательных действий изучалась в основном на примерах решения искусственных двигательных задач, значительно отличающихся от двигательных задач реальных двигательных действий [9, 39, 40]. Причём, результаты, полученные в русле названных методических подходов, часто игнорируют друг друга. Такая ситуация характерна, с точки зрения методологии науки, для глубокого изучения явления изолированно с различных позиций; преодоление кризиса существующей парадигмы, дальнейшее развитие теории объекта, лежит только в системном его рассмотрении [11, 36].

Между тем, накоплен достаточно объёмный массив экспериментальных данных об особенностях биомеханической структуры точностных двигательных действий различных классов, её информационной и механической подструктур, обобщение которых с позиций системно-структурного подхода, позволило бы вывести процесс решения проблем управления движениями в спортивной тренировке и профессионально-прикладной физической подготовке на качественно новый уровень – определить место точности движений среди физических качеств и способностей человека, выявить факторы, лимитирующие уровень точности, дать теоретическое обоснование принципам её воспитания. Это и являлось **целью** настоящего исследования.

¹ См. подробно об этом у Н.А. Бернштейна [3].

Обширные данные о функционировании двигательного аппарата во время осуществления точностных движений [6, 17, 29 и др.] позволяют сделать некоторые заключения концептуального характера.

1. Разбор структурных компонентов организации быстрых (метательных), максимально быстрых (выполняемых за минимально возможное время) и медленных (выполняемых за субъективно удобное время) точностных движений позволяет утверждать, что точностные движения, являющиеся в свою очередь компонентом структуры точностных двигательных действий, имеют фазовый состав и характерную биомеханическую структуру. Основными, свойственными всем классам точностных движений, являются фазы доставки и реализации. Задачей фазы доставки является создание наилучших предпосылок для успешного осуществления фазы реализации. Такими предпосылками являются *положение*, соответствующее анатомическому строению звена, реализующего точность, и (в быстрых и максимально быстрых точностных движениях) *импульс* (количество движения), необходимый для исключения звена, реализующего точность, из активной работы, не связанной с «обработкой цели». Задача фазы реализации совпадает с общей двигательной задачей точностного движения.

Отличительными чертами биомеханической структуры точностных д. д., как совокупности центральных и периферических механизмов их управления и осуществления, являются: а) ограничение движения субъективно сложными пространственными интервалами, детерминированное в *двигательной задаче*; б) преимущественное программирование избыточного импульса в фазе доставки (определяющее *последовательную* активность мышц-антагонистов соответствующего звена) с последующим его гашением (обуславливающим при большой скорости движения *одновременную* активность мышц-антагонистов, движителей сегмента, по положению которого определяется точность); в) использование внутренних сил упругого сопротивления и инерции и силы тяжести, для освобождения от активной работы звена, реализующего точность, г) управление быстрыми фазами движений за счёт периферических механизмов, основанное на малой подвижности, а потому высокой предсказуемости движений дистальных суставов.

2. Процесс коррекции точностного движения определяется тем, что объём афферентной информации, принимаемой к обработке ЦНС, о параметрах движения программно регулируется. В фазе реализации, от успешности которой непосредственно зависит решение точностной двигательной задачи, и в начале фазы доставки, когда оценивается импульс, приданный звену, этот объём значительно увеличивается. В остальные моменты движений (фаза доставки, заключительная фаза), когда требования к пространственным характеристикам движения ниже, аппарат обработки информации ЦНС ограничивает её объём, поступающий с периферии.

Увеличение объёма информации о параметрах движения в фазе реализации, принимаемой ЦНС к обработке, делает эту фазу периодом, в который движение наиболее уязвимо для внешних сбивающих воздействий (время реакции на внешний раздражитель значительно возрастает).

3. В соответствии с задачами фаз доставки и реализации и физическими свойствами опорно-двигательного аппарата биомеханическая структура быстрых и медленных точностных движений, прогрессирует по пути увеличения числа звеньев кинематической цепи, выполняющей фазу доставки. Это позволяет использовать в фазе доставки не только силу тяги активно сокращающихся мышц, но и внешние и внутренние силы, возникающие во время движения, что не только целесообразно с позиций эргономики, но и способствует более эффективной работе сенсорного аппарата в фазе реализации, чем повышает управляемость звена, реализующего точность. Биомеханическая структура максимально быстрых точностных движений наиболее стабильна.

4. основополагающим принципом прогрессирования биомеханической структуры точностных двигательных действий является принцип наибольшего молчания, согласно которому мышцы звена, реализующего точность, и близлежащих звеньев как можно раньше освобождаются от активной работы по принятию наилучшего положения и приобретению достаточного импульса. Моторный и сенсорный компоненты организации движений реализуются последовательно. Это позволяет ЦНС без помех принимать информацию о протекании движений в фазе реализации, повышает эффективность текущей и последующей коррекции.

5. Движения фазы доставки точностного д. д. обычно осуществляется более длинными кинематическими цепями, соединения звеньев которых имеют большое число степеней свободы, что ведёт к росту сложности управления. Однако центральное управление движениями фазы доставки и даёт возможность удлинить кинематическую цепь без снижения точности.

Управление движениями фазы реализации, особенно быстрых и максимально быстрых точностных д. д., осуществляется за счёт периферических механизмов, основанных на *высокой предсказуемости* движений в дистальных суставах, имеющих малое число степеней свободы и *предсказуемости* движений звена, фиксированного при помощи одновременной активности мышц-антагонистов.

Из представленных заключений следует для внесения ясности подробнее остановиться на содержании принципа «наибольшего молчания».

Биомеханическая структура *быстрых* точностных движений прогрессирует по пути увеличения числа степеней свободы биокинематической цепи, осуществляющей движение. Более того, уменьшение подвижности приводит к значительному снижению точности [6, 29].

Явление снижения точности при уменьшении подвижности биокинематической цепи впервые было изучено С.В. Голомазовым [5, 6] и обосновано как отличительное свойство биомеханических систем (в отличие от механических, где с уменьшением числа степеней свободы точность повышается). Однако нельзя не отметить, что этот вывод сделан на примере быстрых точностных движений (баскетбольный бросок), в которых уменьшение степеней свободы биокинематической цепи приводит к нарушению процесса передачи энергии от более массивных частей тела к менее массивным, значительному снижению возможности накопления и

рекуперации энергии. При ограничении подвижности звена, непосредственно осуществляющее движение в фазе реализации, и близлежащие звенья вынуждены включиться в активную, основанную на мышечном сокращении, работу по приобретению необходимого импульса. Причём эта несвойственная при неограниченной подвижности активность сокращает фазу реализации, что исключает возможность текущей коррекции движения, затрудняет работу сенсорного аппарата по осуществлению последующей коррекции. Кроме того, в ЦНС, как показано в наших более ранних исследованиях [29], в фазе реализации пропускающую большой поток информации для обработки, поступает большее количество информации, не связанной непосредственно с обработкой параметров движения в фазе реализации. Это, безусловно, затрудняет дифференцирование зрительной и кинестетической афферентной информации о заключительных моментах движения, как следствие, снижает эффективность текущей и последующей коррекции, наконец, отражается на точности. С позиций программирования движения время между началом элементарных двигательных программ по приобретению необходимого количества движения и «обработке цели» значительно снижается, они накладываются одна на другую, интенсифицируется переходный процесс, сложность управления возрастает.

Чтобы избежать сложностей переходных процессов, ЦНС программирует управление заключительными частями быстрых точностных движений за счёт периферических механизмов, не связанных с сокращением мышц. Это позволяет очистить канал информации со звена, выполняющего фазу реализации, и близлежащих звеньев от «шума», повысить эффективность её дифференцирования и обработки. В фазе реализации мышцы «молчат». Поэтому этот принцип программирования и осуществления точностных движений назван нами принципом «наибольшего молчания».

Следует отметить, что и в максимально быстрых точностных двигательных действиях движения фазы реализации осуществляются за счёт использования рекуперированной энергии дистального звена, что создаёт условия для более эффективного функционирования сенсорного аппарата для осуществления последующей коррекции. Это позволяет распространить принцип наибольшего молчания и на максимально быстрые точностные движения.

В медленных точностных движениях проявление принципа наибольшего молчания обуславливает заблаговременное снижение скорости движения (обычно максимум скорости достигается в первой трети движения рис. 1), с целью отдалить момент наивысшей активности мышц от начала фазы реализации.

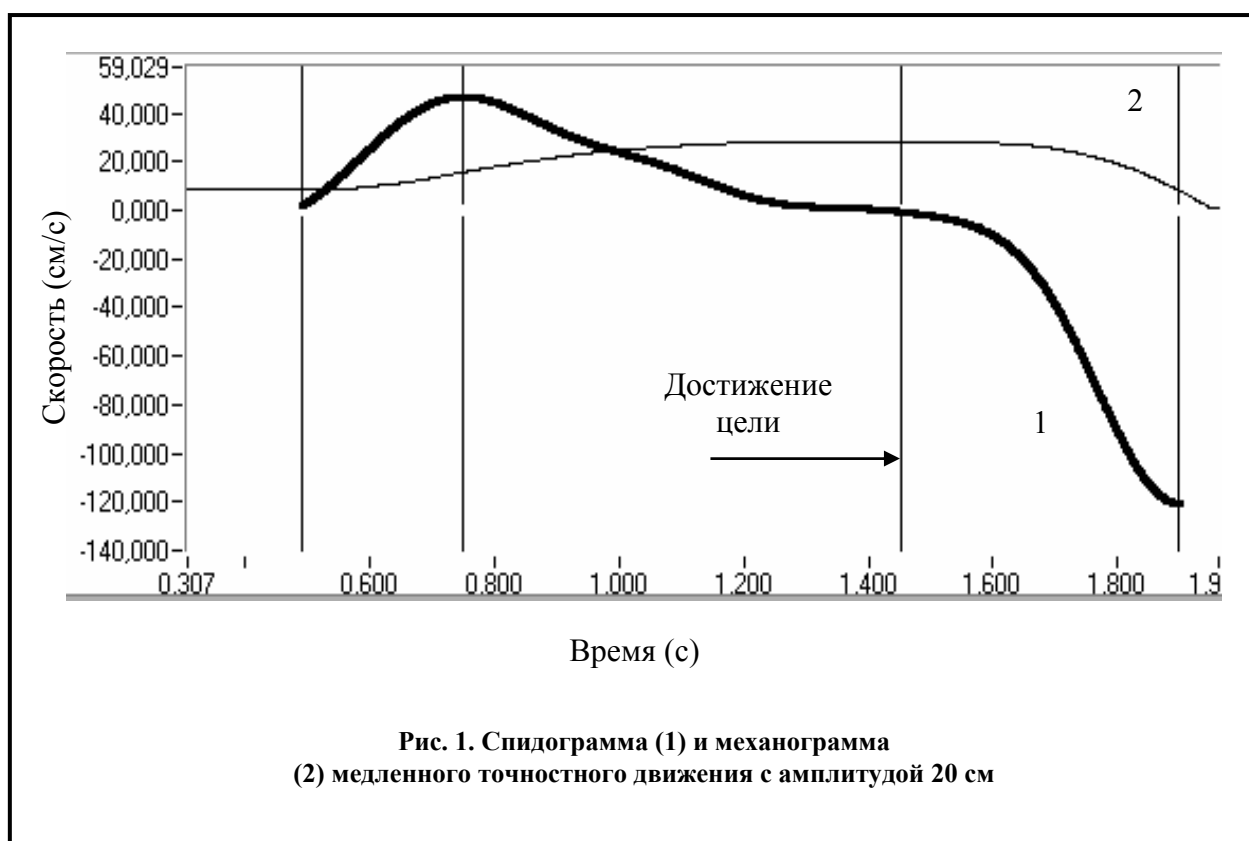


Рис. 1. Спидограмма (1) и механограмма (2) медленного точностного движения с амплитудой 20 см

Фиксирование промежуточных звеньев кинематической цепи с помощью одновременной активности мышц-антагонистов, наблюдаемое на начальных стадиях формирования биомеханической структуры точностного двигательного действия, очевидно, объясняется не только иррадиацией возбуждения в головном мозге [16, 23, 24, 30, 34, 37], повышением

жёсткости, а значит, управляемости [19, 31, 38], но и стремлением увеличить расстояние от мышц, проявляющих высокую активность в фазе доставки, до звена, реализующего точность, и этим освободить канал информации от рецепторов этого звена.

Таким образом, принцип наибольшего молчания является общим принципом формирования и

прогрессирования биомеханической структуры всех рассматриваемых классов точностных д.д.

Следует подчеркнуть, что при *формировании* и *прогрессировании* биомеханической структуры точностных

д. д. принцип наибольшего молчания реализуется по-разному (рис. 2).

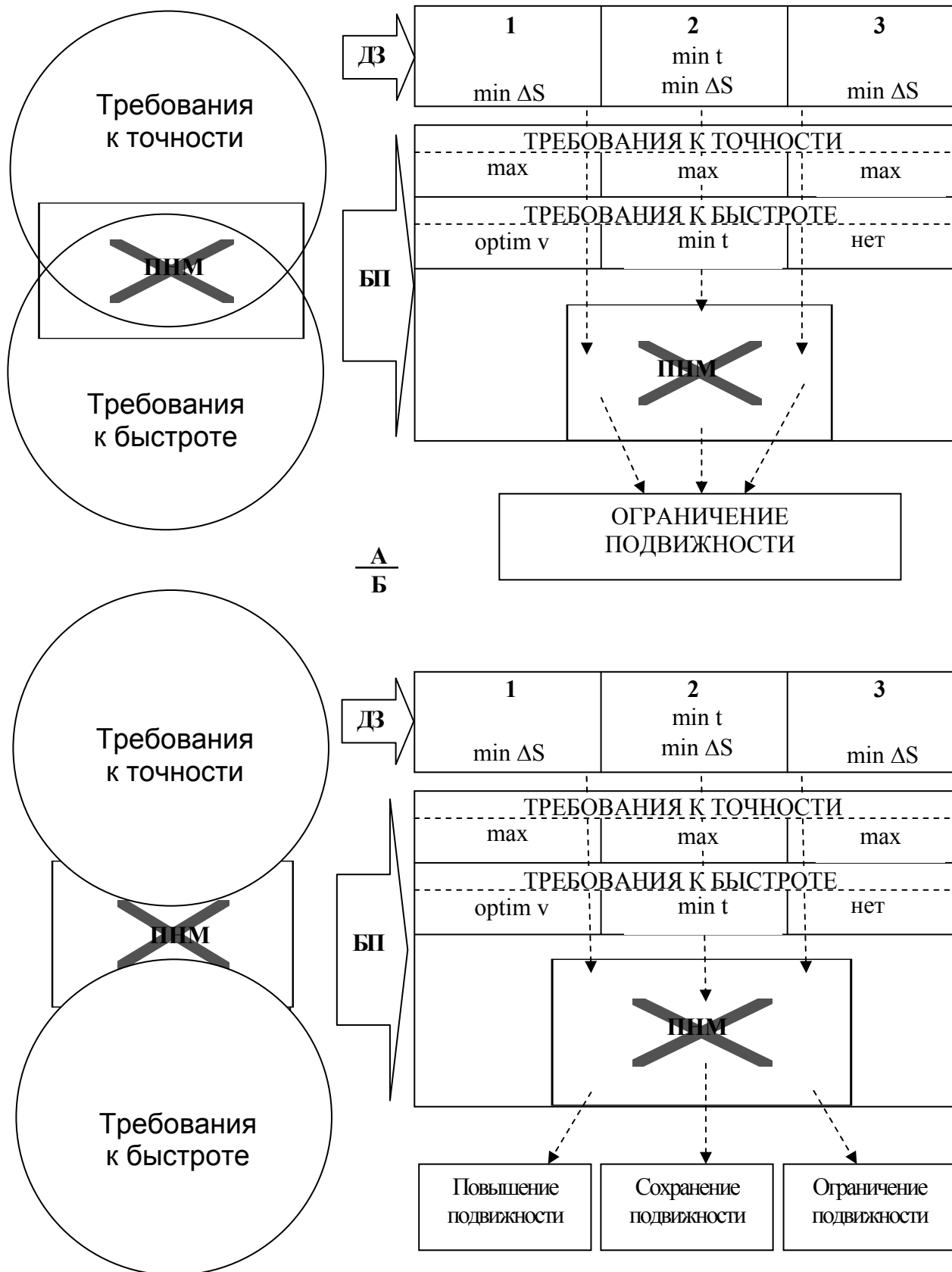


Рис. 2. Реализация принципа наибольшего молчания при формировании (А) и прогрессировании (Б) биомеханической структуры точностных двигательных действий. Обозначения: ПНМ – принцип наибольшего молчания, 1 – быстрые, 2 – условно быстрые, 3 – медленные точностные движения, ДЗ – двигательная задача, БП – блок программирования, ΔS – ошибка, t – время, optim v – оптимальная скорость

При формировании биомеханической структуры точностных д. д. программирующий аппарат ЦНС для достижения высокого уровня точности нуждается в проприоцептивной информации о положении рабочего звена в момент реализации точности. Организмом выбирается, с учётом двигательного опыта, какое-либо соотношение точности и скорости, кинематическая цепь укорачивается за счёт фиксации промежуточных суставов при помощи одновременной активности мышц-антагонистов – освобождается канал информации со звена, реализующего точность, и при многократном повторении движения добывается требуемая информация. В стадии формирования биомеханической структуры точностного д. д. требования к точности и скорости, как исходные данные для двигательного программирования, ещё мало дифференцированы, у различных классов точностных д. д. общая задача – получение информации о фазе реализации. Поэтому и решается эта задача однотипно – ограничивается подвижность биокинематической цепи (рис. 2А).

При прогрессировании биомеханической структуры точностного д. д. ЦНС уже имеет первичную информацию о параметрах движений фазы реализации, основной задачей становится её детализация с целью повышения точности. Имея биомеханическую структуру движения, свойственную стадии её формирования с частично фиксированными промежуточными суставами, организм уже не может получить дополнительной информации. Более того, дальнейший прогресс точности при выполнении движений фазы доставки длинным рычагом (фиксирование промежуточных суставов приводит к удлинению звена) с приложением силы мышечной тяги близко к оси невозможен (а большинство сочленений звеньев тела человека, обслуживающих основные движения, – рычаги второго рода, с приложенной управляющей силой тяги близко к оси [22, 33]). Начинается «специализированное» изменение биомеханической структуры точностного движения в зависимости от его кинематических и динамических характеристик. Требования к точности и скорости полностью дифференцированы, что приводит к различному направлению прогрессирования биомеханической структуры точностных д. д. различных классов (рис. 2Б).

В быстрых точностных д. д. необходима оптимальная скорость звена, выполняющего фазу реализации (достаточная для выполнения механических требований движения снаряда к цели). Однако эта оптимальная скорость, во-первых, гораздо выше максимальной скорости, достигаемой в максимально быстрых точностных движениях, во-вторых, должна быть достигнута именно в момент реализации точности (выпуска метаемого снаряда). Фаза доставки по длительности, скорости движений, рекрутированию сегментов тела не лимитирована. Это делает возможным увеличение подвижности кинематической цепи, выполняющей точностное движение, за счёт дефиксации промежуточных суставов, а также подключения в фазе доставки дополнительных сегментов тела (например, ног в баскетбольном броске). При этом активную работу выполняют мышцы крупных частей тела, лежащие далеко от звена, реализующего точность. Движения в фазе реализации выполняются почти полностью за счёт рекуперированной энергии, что даёт возможность ЦНС с

меньшим количеством помех получать информацию о её протекании для (частично) текущей и последующей коррекции. Именно это, как уже говорилось, приводит к алогичному, с точки зрения механики, повышению точности при увеличении числа степеней свободы подвижности цепи.

В максимально быстрых точностных д. д. минимальное время выполнения движения детерминировано, наряду с требованиями к точности, в двигательной задаче, т.е. здесь требуется максимальная средняя скорость всего движения. Подключение дополнительных звеньев к осуществлению движений в фазе доставки с целью переноса энергии с больших сегментов тела на меньшие приведёт лишь к повышению абсолютной максимальной скорости, но увеличит время всего движения, и потому неприемлемо. Полная дефиксация промежуточных суставов также недопустима вследствие того, что, во-первых, это резко снизит предсказуемость движений дистального звена и соответственно скажется на точности, во-вторых, движение по инерции в фазе реализации, при дефиксированном суставе может привести к его разрушению. Возможность травмирования сустава в максимально быстрых точностных движениях гораздо выше, чем в быстрых, несмотря на то, что максимальная скорость в фазе реализации в два – три раза ниже. Это связано с тем, что в максимально быстрых точностных движениях реализация точности связана с остановкой или резким изменением направления движения крупных сегментов тела.

Таким образом, биомеханическая структура максимально быстрых точностных д. д. теоретически наиболее стабильна (рис. 2Б). Однако реальные двигательные задачи максимально быстрых точностных д. д. предполагают различное сочетание требований к точности и скорости выполнения движений. Поэтому возможно как частичное увеличение подвижности дистального звена, не приводящее к достижению анатомических границ сустава, так и некоторое уменьшение подвижности звена, выполняющего фазу доставки, за счёт изменения его положения относительно других частей тела (приближения его в крайнем положении к анатомическим границам сустава¹). Выполнение движений в фазе реализации в положении, далёком от анатомических границ сустава, приводит, во-первых, к большей подвижности, а потому меньшей предсказуемости движения, во-вторых, к довольно значительному потоку афферентной информации с мышц, работающих в статическом режиме. Это делает максимально быстрые точностные движения наименее точными из всех классов точностных движений. В максимально быстрых точностных движениях увеличение числа степеней свободы подвижности биокинематической цепи *не приводит* к повышению точности.

Быстрые и максимально быстрые точностные д. д. являются наиболее распространёнными в спорте, труде и быту. Однако необходимо отметить, что в тексте работы приведены лишь принципиальные зависимости, а деление точностных движений относительно. На самом деле чаще встречаются движения, сочетающие в себе черты тех или иных классов точностных движений. Так баскетбольный

¹ Типичный пример – наклон барьериста во время преодоления барьера не только уменьшает встречное сопротивление воздуха, но и ограничивает движение бедра маховой ноги вверх.

бросок при противодействии противника протекает в условиях лимита времени и поэтому приобретает черты максимально быстрого точностного движения, а, например, удар боксёра с последующим быстрым возвращением в защитную стойку – типичное максимально быстрое движение, при некотором запасе времени на его выполнение приобретает, в связи с подключением к фазе доставки ног и таза, черты быстрого движения и т.п.

В двигательной задаче и двигательной программе медленных точностных д. д. нет требований к скорости выполнения движения. Такие движения выполняются на субъективно удобной скорости, которая значительно варьирует и между испытуемыми, и между попытками (значительно больше в фазе доставки и меньше – в фазе реализации).

Прогрессирование биомеханической структуры (и повышения точности) при приложении управляющей силы тяги близко к оси вращения рычага затруднено. Поэтому наибольший прогресс достигается при *уменьшении числа степеней свободы* в фазе реализации. Подтверждением тому – поза стрелка, замыкание кинематической цепи (касание оснований ладоней) при вдевании нитки в иглолку, опора запястьем о стол при письме и т.п. Исключение из статической работы мышц, осуществляющих фиксацию звена, реализующего точность, в оптимальном положении, устраняет параллельное функционирование двух элементарных двигательной программ, уменьшает количество шумов, улучшает качество дифференцирования и обработки информации о протекании фазы реализации, что способствует повышению точности. При увеличении числа степеней свободы подвижности кинематической цепи в медленных точностных движениях повышения точности *не происходит*.

Таким образом, обоснованный принцип наибольшего молчания объясняет как изменение числа степеней свободы рабочей биокинематической цепи при формировании и прогрессировании биомеханической структуры точностных движений, так и динамику уровня точности.

Как уже отмечалось, предметом жёстких дискуссий среди вопросов, связанных с двигательной точностью, является место точности движений среди физических качеств и способностей человека. В надежде найти логику дифференцирования признанных физических качеств (для последующей её экстраполяции на точность), обратимся к концепции физических качеств.

Авторы современных определений понятия «физические качества» в качестве классификационного признака прямо [13, 14, 20, 25] или косвенно [26] выделяют качественные стороны совокупности *двигательных возможностей* человека. Но очевидно, что набор таких «качественных сторон двигательных возможностей» бесконечен и решительно не видно критерия, на основании которого подобные «качественные стороны» можно дифференцировать. Это явилось причиной субъективизма в определении набора физических качеств, попыток классификации физических качеств по признаку участия в их проявлении психических и соматических компонентов [20, 21] и уже совсем не обоснованному появлению таких конструкций, как «двигательно-координационные качества» с наличием в их составе «пластичности», «ритмичности» и даже «прыгучести» и «равновесия» [28].

Не останавливаясь более на противоречиях концепции физических качеств и их следствиях, предложим некоторые положения по их разрешению и рассмотрим с позиции этих положений целесообразность введения в состав физических качеств точности.

В роли критерия для дифференцирования *физических* качеств предлагается использовать качественные стороны *двигательной деятельности* (а не *двигательных возможностей*) человека. В этом случае объективными необходимыми и достаточными характеристиками двигательной деятельности человека, как управляемого сообразно с целью физического процесса движения (движений) тела или его частей будут: 1) физические характеристики механического движения, 2) характеристики сообразности параметров движения его цели, являющейся атрибутом деятельности.

Физические характеристики движений определены в классической механике. Так как движение тела происходит в пространстве с течением времени, то первой такой качественной характеристикой будет изменение положения тела с изменением времени или его *скорость* (первая производная расстояния по времени). Изменение скорости движения тела (вторая производная расстояния по времени) происходит только при взаимодействии его с другим телом (первый закон Ньютона). Качественной характеристикой такого взаимодействия является *сила*. Скорость и сила являются актными, моментными характеристиками движения.

Физической характеристикой движения как процесса является *работа* силы, являющейся источником движения. Однако характеристика движения как процесса только физической величиной «работа» неполно. Она учитывает лишь количественную сторону процесса. Качественную его сторону в физике характеризует *мощность*, или изменение работы во времени. Работа и мощность – процессуальные характеристики движения.

Таким образом, движение тела человека или его части, как «физического» тела, может быть полностью описано четырьмя физическими величинами: скоростью, силой, работой и мощностью (v , F , A и P). Первым трём физическим величинам в концепции физических качеств соответствуют быстрота, сила и выносливость (у некоторых авторов «работоспособность»). Насчёт правомерности введения физического качества *мощность*, которое иногда также называют *скоростно-силовыми качествами*, ведётся жёсткая полемика, в связи с тем, что это понятие, якобы, «отражает две качественно особые базовые стороны моторики» [21]. Мощность в физике – это величина прямо пропорциональная силе, действующей на тело и скорости точки её приложения:

$$P=A/t=FS/t=Fv.$$

Причём, мощность – не аддитивная (что следует уже из формулы), но даже и не мультипликативная характеристика движения по его актным характеристикам силы и скорости. Она обладает эмерджентными свойствами, не сводимыми к свойствам силы и скорости. В многочисленных работах практиков «скоростно-силовых» видов спорта это неоднократно отмечено, что и дало повод для введения термина «скоростно-силовые качества».

Однако приведённые четыре характеристики движения – моментные и процессуальные, достаточно характеризуют движение «физического», неживого тела. Любое движение живого тела является деятельностью, т.е. *целесообразной* активностью, а её атрибутом – процесс

управления. Поэтому для характеристики движения живого тела (как деятельности) неизбежно введение ещё как минимум одной величины, характеризующей соответствие, *сообразность* параметров этого движения его цели. Такой характеристикой является *точность*. Физической величиной, характеризующей точность движения точки, является разница координат, заданных в двигательной задаче, и координат реального её положения в результате движения – Δx , Δy , Δz^2 (а для физического тела – разница координат всех его точек). В зависимости от того, происходит движение по линии, плоскости или в пространстве достаточно одной, двух или трёх координат.

Здесь следует отметить, что включение в понятие *точность движения* не только пространственных, но и силовых и временных характеристик движения [14, 26] вряд ли можно признать обоснованным. Частично этот вопрос рассмотрен в главе 3, однако в связи с изучением точности как физического качества, он требует более детального исследования. Движение в механике – это изменение положения. В биомеханике движение – это изменение положения тела или его частей в соответствии с двигательной задачей. Поэтому можно поставить точностную двигательную задачу по любой физической величине, например, работе или мощности и, при наличии соответствующей аппаратуры, проверить соответствие результата заданным параметрам, однако такие двигательные задачи искусственны, не имеют аналогов в реальной двигательной практике человека.

Это, в первую очередь, относится к силовым характеристикам движений. В последнее время стали часто использоваться такие тесты, как давление на динамометр с силой, равной половине максимальной, или прыжок в длину на расстояние, равное половине максимального (без пространственного ориентира, и подразумевая, что проявляется «точность воспроизведения силовых параметров движения») и т.п. Но, во-первых, как уже говорилось, такие двигательные задания не имеют аналогов среди задач реальных двигательных действий, во-вторых, точность их выполнения многократно возрастает при включении в задание пространственных ориентиров – положение стрелки динамометра, место приземления и т.п., что показывает подчинённость этого параметра задаче достижения пространственной точности.

Таким образом, положение тела или его частей в пространстве является *задачей* двигательного действия, направленного на удовлетворение потребности индивида, перемещение в пространстве – движение – способом её решения, а взаимодействие тел (и сила, как мера этого взаимодействия) – средством решения этой задачи. Варьирование способов и средств решения двигательной задачи не влияет на оценку результата движения – положения.

Двигательные задачи по выполнению движения за заданное время столь же искусственны, сколько являются исключительно психической способностью и поэтому как физическое качество или физическая способность рассматриваться не могут. Способность точно воспроизводить временные характеристики движений сопоставима со способностью оценивать расстояние,

которая также лежит в основе пространственной точности движений, но не определяет её полностью.

Точность – актная, моментная характеристика живого движения.

Прежде чем обратиться к формулированию определения точности как физического качества, денотируем с высказанных позиций термин «физическое качество» и соотнесём его с понятием «физическая способность». Итак, *физическое качество* – это способность человека к проявлению в двигательной (физической) деятельности тех или иных качественных сторон. Физическое качество – абстрактное понятие, его уровень не может быть прямо измерен, так как не определён вид деятельности. Косвенная оценка уровня физического качества возможна при помощи определения уровня «физических способностей», реализация которых ведёт к проявлению соответствующих качественных сторон двигательной деятельности.

Физическая способность – это совокупность психических, физиологических и физических свойств организма человека, определяющая проявление в конкретном виде двигательной деятельности тех или иных качественных сторон.

Сделанные дефиниции позволяют определить *точность как способность человека выполнять движения в точном соответствии с пространственными характеристиками, детерминированными в двигательной задаче*.

Точностное д. д. с позиции точности как физического качества может быть определено как д. д., требующее проявления высокого уровня точности в движениях, а *меткость* – как совокупность психических, физиологических и физических свойств организма, определяющих проявление точности в быстрых (метательных) движениях.

К психическим свойствам, определяющим различные точностные способности, относятся прежде всего способности дифференцировать микро- и мезоинтервалы времени, оценивать и сравнивать расстояние, реакция на движущийся объект, к физиологическим – качество работы сенсорного аппарата, физическим – упругость мышц и связок, форма и подвижность суставов, геометрия масс тела.

Специфическими признаками точностного движения являются на этапе формирования биомеханической структуры – ограничение подвижности за счёт одновременной активности мышц-антагонистов, фиксирующих промежуточные суставы, на этапе прогрессирования – в быстрых точностных движениях – увеличение подвижности за счёт удлинения кинематической цепи (подключения дополнительных сегментов тела), использование рекуперации энергии и дистальных, малоподвижных звеньев для реализации завершающих фаз движения, в максимально быстрых точностных движениях – сохранение подвижности, или если это не противоречит двигательной задаче, её частичное уменьшение в фазе реализации за счёт изменения положения других звеньев тела, в медленных точностных движениях – уменьшение подвижности в фазе реализации, за счёт замыкания кинематической цепи о более массивный сегмент тела или внешний предмет.

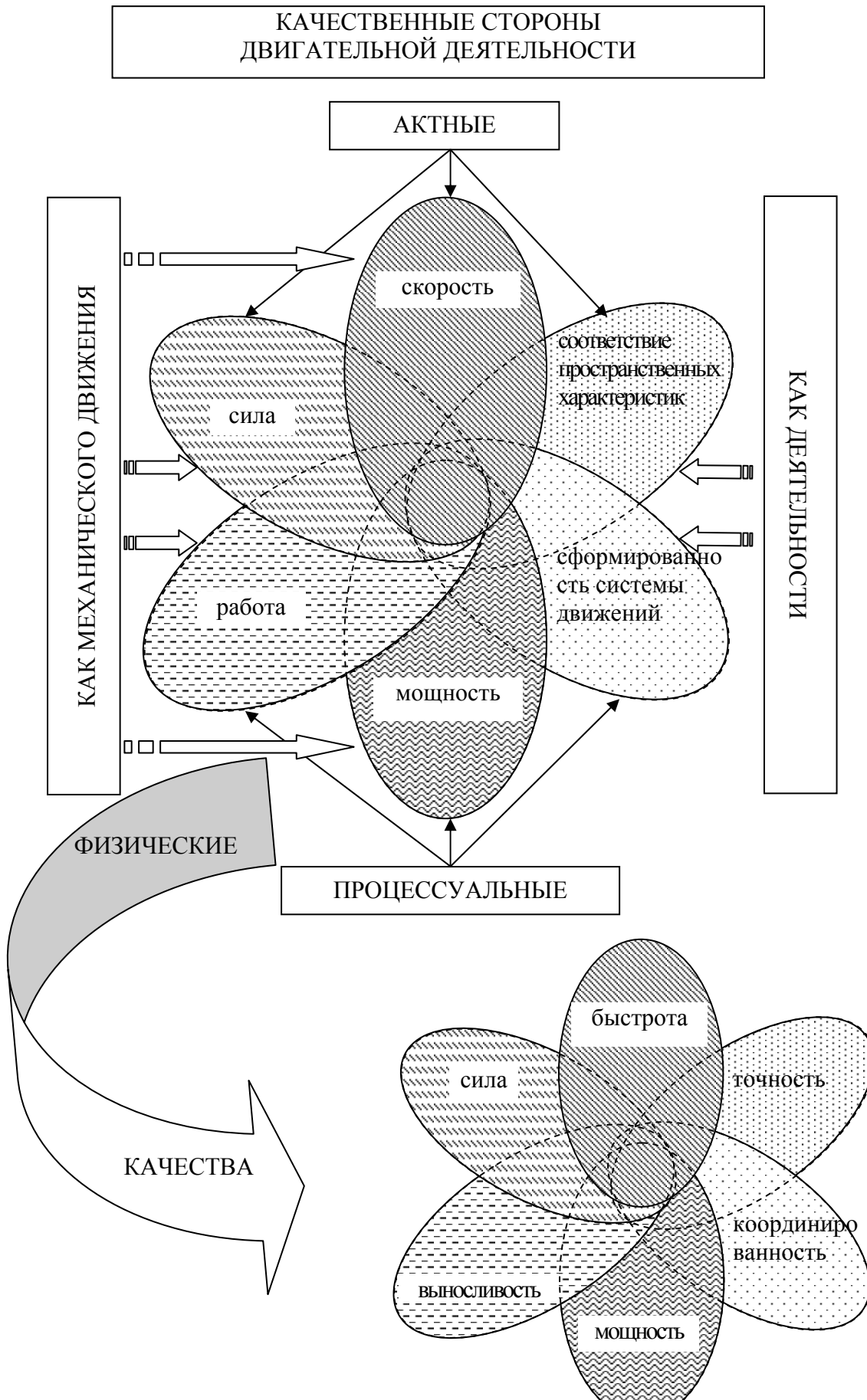
Таким образом, число степеней свободы кинематической цепи, программно изменяемое ЦНС в зависимости от времени движения, является одним из

² Семантика слова «точность», собственно и позволяет трактовать его как «попадание в точку», или «близость к геометрической точке», т.е. отсутствие «меры или протяжения» между двумя точками (см. [10]).

основных биомеханических факторов, определяющих точность движений.

В заключение раздела отметим, что нами рассмотрена лишь активная характеристика движения как деятельности живой системы. Место процессуальной характеристики живого движения в концепции физических качеств в представленной интерпретации осталось свободным. В современной концепции физических качеств эту качественную сторону *возможностей* человека называют

ловкостью. Логический анализ обоснованности этого физического качества с приведённых позиций выходит за рамки настоящего исследования. Однако хотя бы беглое обоснование процессуальной характеристики движения как фрагмента деятельности сделало бы относительно законченной предлагаемый вариант концепции физических качеств, тем самым упрочив позиции точности как её полноправного члена (рис. 3).



Современные определения ловкости принципиально не изменились со времён В.М. Закиорского [14] и имеют в своём составе два основных компонента: 1) способность строить системы движений и 2) способность их «перестраивать» при изменении внешних условий [26, 27, 35 и др.]. Второй пункт явно избыточен. Изменение внешних условий ведёт, по выражению Н.А. Бернштейна [2], к «обыгрыванию» вариантов двигательной задачи при построении системы движений, т.е. этим самым «строением» и является. Поэтому предлагается способность человека объединять в систему элементарные д. д. называть *координированностью* (от лат. *co(n)* – вместе, *ordinatio* – расположение в порядке). В его основе лежит явление валентности, характеризованное И.М. Козловым [19] как способность двигательной системы, её центральных и периферических механизмов интегрировать свойства её частей.

Одним из принципиальных нерешённых вопросов, касающихся координированности как физического качества человека, остаётся в наследство от ловкости – не разработанность единиц измерения способностей, достижения в которых косвенно определяют уровень координированности. Исходя из представленного определения координированности, оценивать способности, её определяющие, можно по степени сформированности соответствующей системы движений. Степень же сформированности системы движений не может оцениваться иначе, как в соответствии с критериями, детерминированными в двигательной задаче (чаще пороговыми).

Оценивая уровень способности, характеризующей какое-либо физическое качество, нет ортодоксальной необходимости придерживаться единиц физической величины, отражающей качественную сторону двигательной деятельности. Например, нет смысла вычислять среднюю скорость в беге на 100 м, зная, что дистанция стандартна, а меняется только время; пространственная точность в движениях с изменением направления коррелирует со временем разворота и временем всего движения, поэтому, не имея специальной аппаратуры для определения пространственной ошибки, допустимо пользоваться временными показателями и т.п.

Таким образом, обосновано рассмотрение точности в ряду базовых физических качеств человека, являющихся отражением соответствующих качественных сторон его двигательной деятельности.

Обоснование точности как физического качества человека предполагает разработку принципов воспитания точности, а изучение особенностей функционирования двигательного аппарата при выполнении точностных движений, биомеханической структуры точностных д. д., выявление закономерностей и формулирование принципа её формирования и прогрессирования создают для этого возможности.

Как было показано, точностное движение можно разделить на фазы доставки и реализации, имеющие различные двигательные задачи. Фаза доставки во всех классах точностных движений связана с активной работой мышц и, особенно в быстрых и максимально быстрых точностных движениях, во многом обусловлена уровнем быстроты и силы. Фаза реализации более связана с тонкими специфическими ощущениями кинематических и

динамических характеристик движений, основанными на информации кинестетического, тактильного и зрительного анализаторов, является *собственно точностной* фазой, в которой реализуется точность, и мало зависит от уровня других физических качеств. Поэтому представляется целесообразным преимущественное воздействие на точность многократным выполнением фазы реализации близких по структуре движений. Соответствующий принцип назван нами принципом «*выделения точностной фазы*». Особенно важно соблюдение этого принципа на начальном этапе воспитания точности, когда уровень быстроты и силы может лимитировать проявление и рост точности в фазе реализации. Типичными примерами из существующей практики являются различные упражнения с мячом представителей игровых видов спорта (способствующие возникновению и развитию «чувства мяча»), имитационные упражнения в лёгкой атлетике («чувство барьера, планки»), гимнастике («чувство снаряда») и т.п. Разновидностью воплощения данного принципа является выполнение фазы реализации с упрощённой фазой доставки: многократные броски и удары с доступных расстояний и доступными по весу мячами, многократное преодоление барьеров доступной высоты, прыжки на заданную доступную высоту, занятия на упрощённых снарядах.

Принцип «выделения точностной фазы» основан на интенсивном воздействии на центры восприятия информации о положении тела и его частей, соотношении кинематических и динамических характеристик в момент реализации точности на фоне уменьшенной активности мышц по перемещению звеньев тела.

Следующий принцип воспитания точности – принцип «*растворения точностной фазы*» основан на привлечении звена, реализующего точность, к активной работе по перемещению. Это, безусловно, осложнит функционирование механизмов проявления точности (в соответствии с принципом наибольшего молчания), что интенсифицирует процессы дифференцирования и захвата афферентной информации о протекании фазы реализации (по принципу суперкомпенсации). Следует отметить, что воплощение данного принципа воспитания точности должно преимущественно иметь место на этапе совершенствования этого качества. Основные методические приёмы могут быть связаны с изменением подвижности биокинематической цепи, выполняющей точностное движение. Очевидно, что противоположное выявленному при прогрессировании биомеханической структуры точностных д. д. изменение подвижности рабочей цепи, будет затруднять реализацию точности. Так, в быстрых точностных движениях некоторое ограничение числа степеней свободы кинематической цепи (например, укорочение её за счёт исключения из движения ног и туловища) приведёт к тому, что звено, непосредственно реализующее точность, будет более задействовано в фазе доставки, что создаст (согласно принципу наибольшего молчания) дополнительные трудности в проявлении точности. К такому же эффекту приведёт ограничение пути разгона снаряда, особенно за счёт движений, способствующих накоплению и последующей рекуперации энергии упругого сопротивления мышц и связок [29].

В максимально быстрых точностных движениях подобного влияния можно ожидать от увеличения подвижности цепи за счёт рекрутирования в работу крупных сегментов тела и переноса энергии на рабочую цепь. В рамках стандартного максимально быстрого точностного движения такое преобразование невозможно, так как приведёт к увеличению времени всего движения, но допустимо в рамках упражнения. Подобные действия приведут к увеличению скорости фазы доставки, следствием чего явится значительное повышение (вследствие необходимости противодействовать возросшим силам инерции) активности мышц, удерживающих звено, реализующее точность.

В медленных точностных движениях похожего эффекта можно добиться, увеличивая число степеней свободы подвижности биокинематической цепи, осуществляющей движение.

Наконец, реализация принципа «расширения диапазона условий» проявления точности позволяет добиться более устойчивого функционирования механизмов обеспечения точности внутри этого диапазона. В качестве основного методического приёма можно считать применение внешних сил. Как показывают данные некоторых исследований [29], влияние внешних сил тяжести и упругости не оказало достоверного влияния на точность движений. Однако очевидно, что их изменение трансформирует биомеханическую ситуацию при реализации точности, соответственно меняет интенсивность потока афферентной импульсации.

Этому принципу соответствует применение мячей различного веса, изменение массы звеньев биокинематической цепи за счёт отягощений при выполнении быстрых, максимально быстрых и медленных движений. Применение внешней силы упругости на практике менее распространено вследствие технических сложностей (особенно в быстрых движениях), но, безусловно, возможно.

Заключение. Таким образом, анализ и обобщение результатов собственных экспериментальных исследований и исследований других авторов позволили, во-первых, выявить основные особенности проявления точности движений и прогрессирования биомеханической структуры точностных движений, что существенно дополняет теорию управления быстрыми и медленными движениями; во-вторых, обосновать место точности среди физических качеств человека; в-третьих, сформулировать принципы воспитания точности, которые становятся научным базисом для оценки существующих и конструирования новых средств и методов воспитания точности движений.

Примечания:

1. Бернштейн Н.А. Исследования по биомеханике удара с помощью световой записи // Исслед. Центр. ин-та труда. – 1923. – Т. 1. – Вып. 1. – С. 19-79.
2. Бернштейн Н.А. О построении движений. – М.: Медгиз, 1947. – 255 с.
3. Бернштейн Н.А. Предисловие // В.Д. Моисеев Вопросы кибернетики в биологии и медицине / Под ред. Н.А. Бернштейна. – М.: Медгиз, 1960. – С. 3-24.
4. Бернштейн Н.А. Предисловие // Координация произвольных движений человека в условиях космического полёта / Л.В. Чхаидзе. – М.: Наука, 1965. – С. 5-19.

5. Голомазов С. Секрет мироздания в модели организации движений живых систем // Человек в мире спорта: Новые идеи, технологии, перспективы: Тез. докл. Междунар. Конгр. – М., 1998. – Т.1. – С.47.
6. Голомазов С.В. Теоретические основы и методика совершенствования целевой точности двигательных действий: Дис. ... д-ра пед. наук / РГАФК. – М., 1996. – 327 с.
7. Голомазов С.В., Кадри М.М., Селуянов В.Н., Шейх М. Состояние исполнительного аппарата как фактор, определяющий точность целевого препрограммируемого двигательного действия // Теория и практика физической культуры. – 1994. – № 11. – С.27-30.
8. Голомазов С.В., Чирва Б.Г. Футбол: Быстрота и точность действий с мячом. – М. – Пески: РГАФК, 1998. – С.17.
9. Гордеева Н.Д., Евсевичева И.В., Зинченко В.П., Курганский А.В. Микродинамическая структура моторной стадии действия // Вопросы психологии. – 1998. – № 6. – С. 86-99.
10. Даль В.И. Толковый словарь живого русского языка. – М.: Русский язык. – 423 с.
11. Даугс Р. Наука о моторике перед лицом кризиса // Теория и практика физической культуры. – 1997. – № 5. – С. 57-63.
12. Егоров А.А. Исследование точности некоторых двигательных реакций у водителей и ее совершенствование средствами физической подготовки: Автореф. дис. ... канд. пед. наук / ГДОИФК им. П. Ф. Лесгафта. – Л., 1966. – 23 с.
13. Зациорский В.М. Воспитание быстроты, ловкости и некоторых частных способностей // Теория и методика физического воспитания / Под ред. Л.П. Матвеева, А.Д. Новикова. – М.: 1975. – С. 190-203.
14. Зациорский В.М. Воспитание физических (двигательных) качеств // Теория и методика физического воспитания / Под ред. А.Д. Новикова и Л.П. Матвеева. – М.: Физкультура и спорт. – 1967. – Т. 1. – С. 226-227.
15. Зациорский В.М., Голомазов С.В. Биомеханическое исследование баскетбольного броска // Теория и практика физической культуры. – 1972. – № 11. – С. 17-23.
16. Зимкин Н.В. Физиологические основы формирования двигательных навыков и обучения спортивной технике // Спортивная физиология: Учеб. для ин-тов физ. культ. / Под ред. Я.М. Коца. – М.: Физкультура и спорт, 1986. – С. 111.
17. Ивойлов А.В. Помехоустойчивость движений спортсмена. – М.: Физкультура и спорт, 1986. – 110 с.
18. Кабачков В.А. Основы физического воспитания с профессиональной направленностью в учебных заведениях профтехобразования: Дис. ... д-ра пед. наук. – М., 1996. – С. 15.
19. Козлов И.М. Центральные и периферические механизмы формирования биомеханической структуры спортивных движений: Дис. ... д-ра пед. наук в форме научного доклада. – Майкоп, 1999. – 46 с.
20. Коренберг В.Б. К вопросу о трансформации концепции физических качеств в концепцию соматических и психосоматических качеств // Современные проблемы развития физической культуры и биомеханики спорта: Мат. междунар. научно-практ. конф. – Майкоп, 2001. – С. 102-104.
21. Коренберг В.Б. Проблема физических и двигательных качеств // Теория и практика физической культуры. – 1996. – №7. – С.2-5.
22. Коренберг В.Б. Спортивная биомеханика. Словарь-справочник: Учебное пособие. – Малаховка: МАГФК, 1998. – Часть I. – С. 64.
23. Косилов С.А., Ломов И.А., Мойкин Ю.В. О критериях совершенства двигательного динамического стереотипа // Журнал высшей нервной деятельности. – 1955. – Т. 5. – № 5. – С. 653.
24. Мануковская Г.П. Изменение характера иннервации мышц у юных гимнастов в процессе овладения гимнастическими упражнениями // Физиологический журнал СССР. – 1959. – Т. 45. – № 1. – С. 1317.

25. Матвеев А.П. Воспитание физических качеств // Теория и методика физического воспитания / Под ред. А.Б. Ашмарина, 1990. – С. 149.
26. Матвеев Л.П. Теория и методика физической культуры: Учеб. для ин-тов физ. культуры. – М.: Физкультура и спорт, 1991. – 543 с.
27. Менхин Ю.В. Физическая подготовка в гимнастике. – М.: Физическая культура, 1989. – 224 с.
28. Назаренко Л.Д. Стимулируемое развитие двигательных и координационных качеств // Теория и практика физической культуры. – 2001. – № 6. – С. 53-56.
29. Немцев О.Б. Биомеханические основы точности движений: Монография. – Майкоп: Изд-во АГУ. – 187 с.
30. Орбели Л.А. Лекции по физиологии нервной системы. – М.-Л.: ОГИЗ, 1934. – 226 с.
31. Персон Р.С. Мышцы – антагонисты в движении человека. – М., 1965. – 113 с.
32. Сирис П.З., Кабачков В.А. Профессионально-производственная направленность физического воспитания школьников. – М.: Просвещение, 1988. – 160 с.
33. Уткин В.П. Биомеханика физических упражнений: Учеб. пособие для студентов фак. физ. воспитания пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1989. – 210 с.
34. Фомин Н.А., Вавилов Ю.Н. Физиологические основы двигательной активности. – М.: Физкультура и спорт, 1991. – 224 с.
35. Холодов Ж.К., Кузнецов В.С. Теория и методика физического воспитания и спорта: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2000. – С. 130-131.
36. Kuhn, T.S. The Structure of Scientific Revolutions. – Chicago: University Press of Chicago Press 2nd Edition, 1970. – 256 p.
37. Lundervold A. Electromyographic investigation of position and manner of working in typewriting // Acta Physiologica Scandinavica. – 1957. – V. 24. – Supplement 84. – P. 1.
38. Schmidt R.A., McGown C. Terminal accuracy of unexpectedly loaded rapid movements: Evidence for a mass-spring mechanism in programming // J. of Motor Behavior. – 1980. – V. 12. – P. 149-161.
39. Schmidt R.A., Zelaznik H.N., Hawkins B., Frank J.S., Quinn J.T. Motor-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts // Psychological Review. – 1979. – V. 86. – P. 415-451.
40. Sheridan M.R. Response Programming and Reaction Time // J. of Motor Behavior. – 1981. – V. 13. – P. 161-176.