

УДК 612.763: 796.325

Капилевич Л.В.

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КООРДИНАЦИИ ДВИЖЕНИЙ СПОРТСМЕНОВ В БЕЗОПОРНОМ ПОЛОЖЕНИИ

В работе на основе сопоставления литературных данных и результатов собственных исследований анализируются биомеханические особенности координации движений в безопорном положении у спортсменов. Показано, что от условий выполнения движения зависит характер превалирующих механизмов, с участием которых осуществляется их регуляция.

Ключевые слова: координация, безопорное положение, прыжок, статокинетические рефлекссы.

Постановка проблемы и её связь с важными научными или практическими заданиями. Подготовка спортсменов высокого уровня на современном этапе развития спорта невозможна без привлечения средств объективизации знаний о функциональном состоянии спортсмена, без учета физиологических закономерностей и механизмов управления двигательными действиями. Проблема получения и интерпретации этой информации весьма актуальна как для решения задач отбора наиболее перспективных спортсменов среднего уровня и новичков, так и для планирования тренировочного процесса на всех этапах подготовки [11]. Для физиологического контроля в спорте сегодня используется широкий арсенал методов. В эту сферу активно внедряются информационные технологии, что позволяет существенно ускорить процесс обработки и анализа полученной информации, повысить качество ее визуализации, сделав доступной не только для исследователя, но и для спортсмена [7].

При этом сущность комплексного физиолого-биомеханического подхода к изучению динамических феноменов сводится к установлению качественной и количественной связи между координирующими свойствами двигательного аппарата человека, работой скелетных мышц и эффективностью выполнения двигательных действий [5]. В современной физиологии спорта для этих целей используется комплекс методик – тензодинамография, стабиллография, электромиография, цифровая покадровая фотосъемка движений спортсмена. Разработанные как методы функциональной диагностики поражений нервной системы на различных уровнях, эти методы сегодня активно внедряются в физиологию спорта, поскольку позволяют объективно оценивать функциональные возможности нервной системы при формировании двигательных навыков [12].

Анализ последних исследований и публикаций. Для многих игровых видов спорта наиболее характерными являются точно-целевые виды движений, выполняемые в безопорном положении [11]. Эффективность таких движений определяется рациональностью техники их выполнения, определенной на основе биомеханических исследований. Основное внимание при этом уделяется динамическим характеристикам движений кинематических звеньев тела в фазе полета [6].

Точность и надежность управления движениями при выполнении спортивных упражнений определяются физиологическими механизмами, участвующими в саморегуляции двигательной деятельности. Физиологической основой технической подготовки можно считать целенаправленное совершенствование процессов, которые обеспечивают регуляцию движений, определяющих результативность игровых действий. В то же время совершенствование техники ударных действий в прыжке сопряжено с рядом трудностей, связанных, прежде всего, с формированием способностей координировать движения тела в безопорном положении [2, 4].

Спортивно-техническое мастерство зависит от способностей спортсмена управлять системой движений, которые в процессе тренировки постоянно совершенствуются за счет коррекции. Для управления системой движений важное значение имеет самоконтроль, осуществляемый на основе отчетливых двигательных представлений [8].

Механизмы координации движений, роль тех или иных отделов ЦНС в управлении движениями изучаются чаще в опытах на животных, однако объектом исследования естественных движений является преимущественно человек, что обусловлено двумя обстоятельствами. Во-первых, человек в зависимости от задачи исследования может воспроизводить любую требуемую форму двигательной деятельности. Во-вторых, движения человека являются проявлением его поведения и трудовой деятельности и поэтому представляют особый интерес как с теоретической точки зрения вследствие их сложности и дифференцированности, так и с практической – в связи с их значением для медицины, физиологии труда, физиологии спорта [8].

Правильность и точность выполнения произвольных движений обеспечиваются двигательным анализатором. Обилие ассоциативных связей двигательного анализатора с корковыми центрами других анализаторов позволяет осуществлять анализ и контроль за движением со стороны зрительного, слухового, кожного анализаторов, вестибулярного аппарата. Выполнение движений сопряжено с растягиванием кожи и давлением на отдельные ее участки. Тактильные рецепторы по механизму

условной временной связи оказываются включенными в анализ движений. Эта функциональная связь является физиологической основой комплексного кинестетического анализа движений, при котором импульсы с тактильных рецепторов дополняют проприоцептивную чувствительность [1, 10].

На разных этапах развития представлений о координации движений создавались разные схемы физиологических механизмов управления движениями. Большой интерес представляет схема управления по принципу сенсорных коррекций, предложенная в 1935 г. Н. А. Бернштейном. Координация рассматривается Н. А. Бернштейном как преодоление избыточных степеней свободы движений [3].

Совершенствование двигательной функции человека в процессе онтогенеза происходит как вследствие продолжающегося в первые годы после рождения созревания отделов нервной системы и врожденных механизмов, участвующих в координации движений, так и в результате обучения, т. е. формирования новых связей, лежащих в основу программ тех или иных конкретных двигательных актов. Координация новых, непривычных движений имеет характерные черты, отличающие ее от координации тех же движений после обучения [2].

Обилие степеней свободы в опорно-двигательном аппарате, влияние на результат движения сил тяжести и инерции осложняют выполнение любой двигательной задачи. На первых порах обучения нервная система справляется с этими трудностями, нейтрализуя помехи путем развития дополнительных мышечных напряжений. Мышечный аппарат жестко фиксирует суставы, не участвующие в движении, активно тормозит инерцию быстрых движений. Такой путь преодоления помех, возникающих в ходе движения, энергетически невыгоден и утомителен. Использование обратных связей еще несовершенно – коррекционные посылки, возникающие на их основе, несоразмерны и вызывают необходимость повторных дополнительных коррекций.

При электромиографическом контроле заметно, что у неопытного спортсмена мышцы-антагонисты даже тех суставов, в которых совершаются движения, активируются одновременно, при этом в циклических движениях мышцы почти не расслабляются. Возбуждены также многие мышцы, не имеющие прямого отношения к данному двигательному акту. Движения, совершаемые в таких условиях, напряжены и незстетичны. По мере обучения вырабатывается такая структура двигательного акта, при которой немускульные силы включаются в его динамику, становятся составной частью двигательной программы. Излишние мышечные напряжения при этом устраняются, движение становится более устойчивым к внешним возмущениям. На электромиограммах видна концентрация возбуждения мышц во времени и пространстве, периоды активности работающих мышц укорачиваются, а количество мышц, вовлеченных в возбуждение, уменьшается. Это приводит к повышению экономичности мышечной деятельности, а движения делаются более плавными, точными и непринужденными. Важную роль в обучении движениям играет рецепция, особенно проприорецепция. В процессе двигательного обучения обратные связи используются не только для коррекции движения по его ходу, но и для коррекции программы следующего движения на основе ошибок предыдущего.

Таким образом, в формировании координационных способностей, в освоении сложных двигательных актов определяющую роль играет взаимодействие мышечных усилий и внешних сил, главной из которых является сила тяжести. Ведущая роль в регуляции движений при этом принадлежит вестибулярному анализатору.

В то же время исследования, проведенные в условиях невесомости свидетельствуют, что при отсутствии силы тяжести человек довольно быстро восстанавливает координационные способности. Это наглядно показано в работах по анализу почерка. Во время орбитального полета у космонавтов изменяется привычная координация движений при письме. Это проявилось в неодинаковости начертания одних и тех же букв и их элементов, в неровности строчек, неравномерности перемещения кисти при писании. Такие изменения почерка характерны именно в случае недостаточной согласованности крупных движений, совершаемых главным образом предплечьем, плечом и всей кистью, с мелкими движениями кисти и пальцев.

Наибольшие перемены отмечались в начале орбитального полета. На 2–7-м витках двигательная координация улучшалась и сохранялась на уровне среднего или более среднего снижения. Изменения письма на первых витках свидетельствуют о трудности согласования мелких движений, обеспечивающих плавный переход от сгибательных элементов к разгибательным. Наибольшие нарушения обнаруживались при дугообразных перемещениях, требующих плавного перехода от одного направления к другому. Если в обычных условиях такие перемещения выполняются сложным сочетанием сгибательно-разгибательных и приводяще-отводящих движений кистей и пальцев, то при невесомости возникают упрощения, начинают преобладать или сгибательно-разгибательные или приводяще-отводящие движения. По мере продолжения полета положение, однако, восстанавливается, т. е. происходит приспособление к новым условиям. Вместе с тем в почерке космонавтов появляются признаки, указывающие на образование новых координационных связей. В ходе полета усиливается тенденция к упрощению движений, взаимодействие их также становится проще, как и строение букв. Кроме того, увеличивается нажим карандаша на бумагу и количество связанных движений. Письменные знаки, выполняемые в обычных условиях раздельно, при невесомости оказываются соединенными тонкими, еле заметными штрихами (последняя буква в слове соединяется со следующей за ней запятой и т.д.) [9, 13].

Таким образом, в условиях невесомости координация движений существенно меняется. Значение силового компонента здесь становится иным и привычные взаимодействия между центральным и периферическим отделами двигательного аппарата нарушаются. Длительное пребывание в невесомости сопровождается соответствующей адаптацией, выражающейся в основном в упрощении движений. Такая адаптация отмечается с первых суток и усиливается в течение последующих суток космического полета.

Поскольку вестибулярный анализатор в условиях невесомости не выполняет свою функцию, ведущая роль в регуляции движений принадлежит зрительному анализатору. В то же время выяснилось, что важным фактором адаптации является фиксация тела на опоре. Движения же в нефиксированном состоянии при перемещении внутри корабля и шлюза были труднее для выполнения. Здесь космонавты в какой-то мере лишались надежной опоры. Качество осуществления операций во многом зависело от силы отталкивания. В условиях отсутствия опоры освоение навыков координации в невесомости происходило значительно медленнее и менее эффективно [9,13]. По все видимости, при отсутствии жесткой фиксации тела, при свободном перемещении в пространстве зрительный анализатор так же становится не способен обеспечивать эффективную координацию.

Формулировка цели и задач работы. *Цель работы* – изучить биомеханические особенности координации движений в безопорном положении у спортсменов.

Задачи работы: изучить современное состояние проблемы регуляции движений в отсутствии опоры, исследовать биомеханические особенности бросков в прыжке в волейболе, определить перспективные направления тренировки координационных способностей в безопорном положении на основе выявленных биомеханических закономерностей.

Основной материал исследования. Человек, находящийся в фазе свободного полета, так же оказывается в условиях, приближенных к невесомости. Наши исследования, проведенные на волейболистах различной квалификации, показали, что у спортсменов низкой квалификации имеет место отклонение назад верхней части туловища и отведение назад руки (сгибание в локтевом суставе) [4]. Такое избыточное отклонение назад (в спортивной терминологии его иногда называют "пробеганием под мяч") снижает точность выполнения удара по мячу. Кроме того, отклонение туловища назад (избыточное разгибание в тазобедренном суставе) снижает возможность зрительного контроля за мячом в завершающей фазе удара.

Можно предположить, что в фазе полета у спортсменов снижается афферентная импульсация от сенсорных рецепторов вестибулярного аппарата, что приводит к угнетению статокINETических рефлексов (рефлекторные изменения тонуса мышц при сохранении равновесия тела при прыжках и беге, а также сложные рефлексы, в том числе и в безопорном положении). Сенсорный вход от вестибулярных ядер вызывает не только движения глаз, но и приспособительные изменения позы, которые опосредуются командами в спинной мозг через латеральный вестибулоспинальный тракт и медиальный вестибулоспинальный тракт, а также через ретикулоспинальные тракты. Латеральный вестибулоспинальный тракт активирует разгибательные мышцы, поддерживающие позу [14].

При снижении импульсации от вестибулярного аппарата усиливается влияние второго типа позных рефлексов – тонических шейных рефлексов, которые активируются мышечными веретенами шейных мышц. При сгибании шеи мышечные веретена запускают тонический шейный рефлекс без вмешательства вестибулярной системы. При ее выпрямлении (вытягивании головы вперед) верхние конечности выпрямляются, а нижние сгибаются, при сгибании шеи эффект обратный. Важно отметить, что эти эффекты противоположны тем, которые обеспечиваются вестибулярной системой.

Поскольку кора полушарий головного мозга контролирует деятельность отделов мозга, в которых замыкаются дуги тонических рефлексов, то в результате тренировки тонические рефлексы можно затормозить: при разучивании новых движений и комбинаций приходится подавлять тонические рефлексы. Защищая организм от травм, они мешают выполнять новые, непривычные, сложные для него движения [8].

Особенно важным в рассматриваемом аспекте является зависимость равновесия в движении от положения головы по отношению к туловищу. Неправильное держание головы вызывает нарушение равновесия. Несвоевременное перемещение головы приводит к потере равновесия и к нарушению позы: преждевременному или запоздалому выпрямлению или сгибанию туловища. Таким образом, отклонение головы назад в безопорном положении в условиях снижения импульсации от рецепторов вестибулярного аппарата, может приводить к превалированию тонических шейных рефлексов над статокINETическими, избыточному отклонению туловища назад, сгибанию руки – все это снижает точность ударных действий [10].

Весьма важно, особенно когда речь идет о тонических позных рефлексах, не рассматривать рефлекторную деятельность как чисто автоматическую, при которой сенсорный вход неизбежно вызывает двигательную реакцию. В действительности рефлекс – это тонко управляемый процесс, который могут вызывать и в значительной степени регулировать высшие центры произвольной двигательной системы. Автоматизм тонических позных рефлексов проявляется только в особых ситуациях, например, у новорожденных (с еще несформировавшимся окончательно передним мозгом) или у больных с церебральными нарушениями. По всей вероятности, для преодоления этих явлений следует больше внимания уделять тренировке вестибулярного аппарата у спортсменов.

Выводы и перспективы дальнейших разработок. Таким образом, от условий выполнения движения зависит характер превалирующих механизмов, с участием которых осуществляется их

регуляция. При этом можно выделить три разновидности факторов и, соответственно, три варианта преобладающих механизмов регуляции.

В условиях сохранения опоры и силы тяжести (удары и броски в опорном положении) основной механизм регуляции движения связан с оптимизацией структуры двигательного акта, за счет которой немышечные силы включаются в его динамику, становятся составной частью двигательной программы. Формируется концентрация возбуждения мышц во времени и пространстве, периоды активности работающих мышц укорачиваются, а количество мышц, вовлеченных в возбуждение, уменьшается. Основные механизмы, формирующие координационные способности в данных условиях, связаны с вестибулярным анализатором.

В условиях отсутствия силы тяжести (действия в невесомости) при сохранении опоры ведущая роль в регуляции передается от вестибулярного к зрительному анализатору. При этом освоенные ранее навыки координации движений восстанавливаются достаточно быстро и эффективно.

Наиболее сложными являются условия, когда отсутствуют и сила тяжести, и взаимодействие с опорой (в невесомости при отсутствии фиксации на поверхности, близки по условиям и действия в прыжке). При этом снижение импульсации от вестибулярного аппарата компенсируется усилением влияния второго типа позных рефлексов – тонических шейных рефлексов, которые активируются мышечными веретенами шейных мышц. Формирование координационных способностей в таких условиях происходит медленнее всего и требует специальных усилий.

Использованные источники

1. Анохин П. К. Узловые вопросы теории функциональной системы / П. К. Анохин. – М.: Наука, 1980. – 197 с.
2. Бальсевич В.К. Очерки по возрастной кинезиологии человека / В.К. Бальсевич. – М.: Советский спорт, 2009. – 220 с.
3. Бернштейн Н.А. Избранные труды по биомеханике и кибернетике / Н.А. Бернштейн. – М.: СпортАкадемПресс, 2001. – 296 с.
4. Биомеханические и стабиллографические характеристики прямого нападающего удара в безопорном положении / Л.В. Капилевич, Е.В. Кошельская, В.И. Андреев, И.А. Зюбанова // Олимпийский спорт и спорт для всех: материалы XV международного конгресса. – Кишинев, 2011. – С. 334 – 336.
5. Биомеханические основы правильной и ошибочной техники ловли мяча баскетболистами различной квалификации / В.И. Андреев, С.З. Плиев, Л.В. Капилевич, Е.В. Кошельская // Теория и практика физической культуры. – 2011. – №10. – С. 80 – 82.
6. Бочаров М. И. Частная биомеханика с физиологией движения / М. И. Бочаров. – Ухта : УГТУ, 2010. – 235 с.
7. Горская И.Ю. Оценка координационной подготовленности в спорте / И.Ю. Горская // Теория и практика физической культуры. – 2010. – №7. – С. 34-37.
8. Казенников О. В. Об участии первичной моторной коры в программировании двигательной активности при ловле груза / О. В. Казенников, М. И. Липшиц // Физиология человека. – 2011. – Том 37. – № 5. – С. 108-112
9. Леонов А.А. Восприятие пространства и времени в космосе / А.А. Леонов, В.И. Лебедев. – М.: Наука, 1968. – 70 с.
10. Павлов С. Е. Адаптация / С. Е. Павлов. – М.: Паруса, 2000. – 282 с.
11. Совершенствование техники выполнения волейболистами прямого нападающего удара методом компьютерной стабиллографии / Л.В. Капилевич, Е.В. Кошельская, В.И. Андреев, И.А. Зюбанова // Теория и практика физической культуры. – 2011. – №9. – С. 66 – 69.
12. Физиологические и биомеханические характеристики техники ударно-целевых действий футболистов / Е.В. Кошельская, Л.В. Капилевич, В.Н. Баженов, В.И. Андреев О.И. Буравель // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2012. – Том 153. – № 2. – С.235-237.
13. Физиологические проблемы невесомости / Ред. О. Газенко, И. Касьян. – М.: Медицина, 1990. – 288 с.
14. Beutler A.I., Motte S.J. Muscle Strength And Qualitative Jump-Landing Differences In Male And Female Military Cadets: The Jump-Acl Study // The Journal of Sports Science and Medicine. – 2009. – №4 (8). – P. 663-671.

Kapilevich L.V.

BIOMECHANICAL PARTICULARLY THE COORDINATION OF MOTIONS IN THE UNSUPPORTED STATE ATHLETES

In work on the basis of a comparison of published data and the results of their research analyzed the biomechanical characteristics of motor coordination in the support-free status in athletes. It is shown that the conditions of the movement depends on the nature of the prevailing mechanisms are implemented with the participation of their regulation.

Keywords: *coordination, unsupported position, jump, statokinetic reflexes.*

Стаття надійшла до редакції 10.09.2013 р.