ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА, 2015, том 41, № 4, с. 73–81

УДК 615.851.11:796.323.084.2

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ СТАБИЛОГРАФИЧЕСКОГО ТРЕНИНГА С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

© 2015 г. Л. В. Капилевич[1, 2], Е. В. Кошельская[2], С. Г. Кривощеков[1, 3]

[1]Национальный исследовательский Томский государственный университет

[2]Национальный исследовательский Томский политехнический университет

[3]ФГБНУ "НИИ физиологии и фундаментальной медицины", Новосибирск

E-mail: kapil@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.02.2015 г.

Исследовались физиологические характеристики ударов по мячу в безопорном положении у волейболистов и возможность совершенствования их эффективности на основе тренинга с биологической обратной связью. Показано, что физиологические и биомеханические характеристики прямого нападающего удара в опорном положении у волейболистов взаимосвязаны с биомеханическими особенностями выполнения этого удара в прыжке. При этом физиологическое обеспечение точности ударных действий связано, во-первых, с улучшением координации движений туловища и руки в фазе полета, во-вторых, с факторами внутримышечной и межмышечной координации бьющей руки и, в-третьих, с изменением характера перемещения общего центра давления спортсмена. Применение компьютерного стабилографического тренинга с биологической обратной связью способствует оптимизации физиологических и биомеханических параметров двигательных действий в безопорном положении, что в итоге обусловливает возрастание точности выполнения ударов по мячу в прыжке. Полученные результаты открывают перспективы применения метода компьютерной стабилографии для совершенствования техники выполнения точностно-целевых действий в безопорном положении в различных видах спорта.

Ключевые слова: регуляция движений, безопорное положение, стабилография, волейбол, биологическая обратная связь.

DOI: 10.7868/S0131164615040098

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 [1, 2].

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 [3–5].

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 [6]. В современной физиологии спорта для этих целей используется комплекс методик – тензодинамография, стабилография, 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.

Для игровых видов спорта, в частности, волейбола, наиболее характерными являются точностно-целевые виды движений, выполняемые в без-

опорном положении [7, 8]. 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 [9–12].

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 [13, 14].

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 [15–17].

Спортивно-техническое мастерство зависит от способностей спортсмена управлять системой движений, которые в процессе тренировки постоянно совершенствуются за счет коррекции [18]. Для управления системой движений важное значение имеет самоконтроль, осуществляемый на основе отчетливых двигательных представлений [19, 20]. В связи с этим внимание исследователей привлекают методы, основанные на биологической обратной связи [21–23]. Одна из важных в теоретическом и практическом отношении, но недостаточно разработанная проблема биоуправления – адаптивные свойства нейропластичности, т.е. способности нейронных сетей динамически реорганизовывать свою работу в соответствии с меняющимися внутренними или внешними условиями. Пластичность нервных процессов является одним из важнейших свойств головного мозга, позволяющих оперативно менять структуру межцентральных отношений, лежащую в основе поддержания функционального состояния организма и его адаптации к окружающей среде, обучаться новым видам деятельности [24].

Целью настоящей работы было изучить физиологические характеристики ударов по мячу в безопорном положении у волейболистов и возможность совершенствования их эффективности на основе тренинга с биологической обратной связью.

МЕТОДИКА

Были обследованы 60 мужчин в возрасте 18–22 года. Все обследуемые входили в основную медицинскую группу. По уровню подготовки были выделены две группы. Первую группу составили волейболисты высокой квалификации (24 человека), занимающиеся волейболом более трех лет, участники сборных команд факультета и вуза, и имеющие первый спортивный разряд. Во вторую группу (контрольную) вошли волейболисты низкой квалификации (36 человек), занимающиеся волейболом не более полугода и не имеющие спортивных разрядов.

Захват движений (Motion Tracking). Для анализа ориентации звеньев тела, их местоположения в пространстве и отношения к опоре использовался метод отслеживания движения. Пространственные перемещения звеньев тела спортсменов регистрировались с помощью видеокамеры Vision Research Phantom Mire eX2. Съемка велась со скоростью 100 кадров в секунду. Полученные данные были обработаны и проанализированы в программе StarTraceTracker 1.1 VideoMotion®.

Электромиография. Регистрации поверхностной электромиограммы (ЭМГ) осуществлялась с помощью электромиографа “BTS FREEMG 300” компании “BTS Bioengineering”. При анализе ЭМГ оценивались средняя амплитуда и средняя частота осцилляций.

Стабилография. Исследование проводилось с использованием компьютерного стабилоанализатора с биологической обратной связью “Стабилан-01-2”. Стабилограф позволяет измерять параметры смещения общего центра давления в процессе поддержания испытуемым вертикальной позы.

Анализ данных проводился при помощи программы Statistica 6.0 for Windows фирмы Statsoft. Полученные данные представлены в виде “среднее ± ошибка среднего” ($X_{ср} \pm m$). Для определения характера распределения полученных данных использовали критерий Колмогорова–Смирнова, а также визуальную проверку методом гистограмм. Гипотезу о принадлежности сравниваемых независимых выборок к одной и той же генеральной совокупности или к совокупностям с одинаковыми параметрами проверяли с помощью рангового *U*-критерия Манна–Уитни. Для оценки взаимосвязи изучаемых признаков использовался непараметрический критерий взаимной сопряженности Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Физиологические характеристики техники выполнения прямого нападающего удара в безопорном положении волейболистами различной квалификации

Характеристики выполнения прямого нападающего удара определялись методом фотосъемки и построения четырехзвенной модели те-

ла спортсмена. Оценивалась величина углов в момент удара по мячу (рис. 1).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что у спортсменов низкой квалификации имеет место отклонение назад верхней части туловища и отведение назад руки (сгибание в локтевом суставе) – величины углов ψ_3 и ψ_1 достоверно ниже в сравнении с группой спортсменов высокой квалификации (рис. 1, табл. 1).

По данным биомеханического анализа, наиболее эффективным является такой удар, при котором скорость перемещения проксимального звена верхней конечности (плеча) достигает максимума в начале движения и снижается к моменту соприкосновения руки с мячом, способствуя возникновению реактивных сил, увеличивающих скорость движения предплечья и кисти. Эти условия выполняются, когда удар производится выпрямленной рукой. Если к моменту соприкосновения с мячом рука остается частично согнутой в локтевом суставе, скорость перемещения дистального отдела уменьшается, и, соответственно, уменьшается сила удара по мячу [25].

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 статокинетических 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 [26–28].

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.

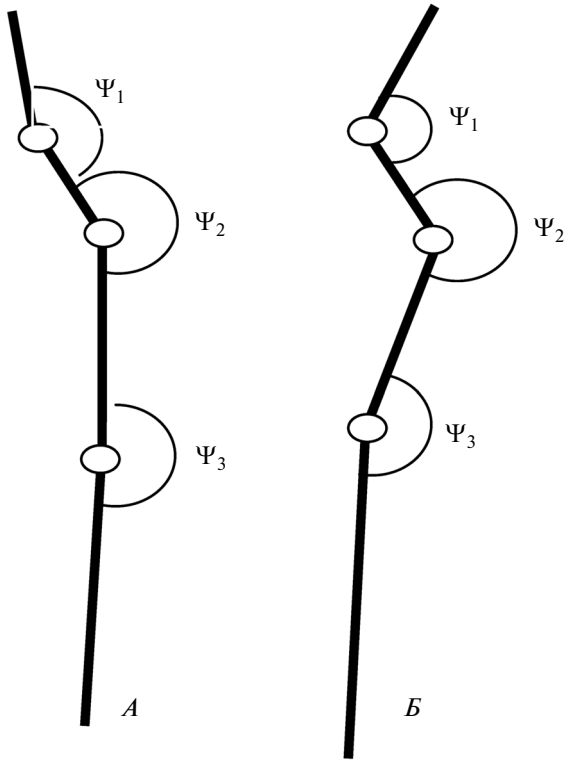


Рис. 1. Модель положения тела спортсмена высокой (*А*) и низкой (*Б*) квалификации в безопорной фазе выполнения прямого нападающего удара (в момент вылета мяча).

Углы: ψ_1 – предплечье-плечо, ψ_2 – плечо-туловище, ψ_3 – туловище-бедро.

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.

Таблица 1. Величины углов в биомеханической модели положения тела спортсменов в безопорной фазе выполнения прямого нападающего удара ($X_{ср} \pm m$)

Квалификация спортсменов	Ψ_1	Ψ_2	Ψ_3
Низкая ($n = 36$)	124 ± 9	224 ± 13	165 ± 11
Высокая ($n = 24$)	165 ± 11*	219 ± 12	182 ± 12*

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: * – достоверность различий между показателями у спортсменов высокой и низкой квалификации – $p < 0.05$.

Таблица 2. Биоэлектрическая активность мышц бьющей руки при выполнении прямого нападающего удара у спортсменов различной квалификации ($X_{ср} \pm m$)

Мышцы	Спортсмены высокой квалификации ($n = 24$)		Спортсмены низкой квалификации ($n = 36$)	
	средняя амплитуда, мкВ	средняя частота, Гц	средняя амплитуда, мкВ	средняя частота, Гц
Двуглавая мышца плеча	74.6 ± 12.5*	240.7 ± 11.4*	45.5 ± 9.3	297.3 ± 16.2
Локтевой сгибатель запястья	281.6 ± 14.1*	345.8 ± 15.6*	144.9 ± 18.7	418.3 ± 19.2
Локтевой разгибатель запястья	98.2 ± 9.2*	190.5 ± 11.5*	67.5 ± 8.7	270.03 ± 13.4
Трехглавая мышца плеча	370.2 ± 19.7*	321.5 ± 14.6*	281.4 ± 17.2	378.7 ± 12.7

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 статокинетическими, избыточному отклонению туловища назад, сгибанию руки – все это снижает точность ударных действий [26–28].

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 [29].

Электромиографическая характеристика выполнения прямого нападающего удара волейболистами различной квалификации

Были выявлены существенные различия в организации работы мышц руки при выполнении прямого нападающего удара по мячу волейболистами различной квалификации (рис. 2). У спортсменов низкой квалификации все группы мышц вовлекаются в сокращение одновременно, и продолжительность активной фазы сгибателей и разгибателей различается незначительно. Вторая вспышка активности локтевого сгибателя запястья незначительна по амплитуде и длительности, что свидетельствует о слабом вовлечении кисти в завершающей фазе удара – основной вклад в его выполнение вносит разгибание в локтевом суставе.

У высококвалифицированных волейболистов фаза активности трехглавой мышцы плеча длительнее, а на локтевом сгибателе запястья наблюдается два разряда, причем амплитуда второго выше, чем первого. Это отражает вовлечение кисти в завершающую фазу ударного движения. Средняя амплитуда электрической активности всех групп мышц у квалифицированных спортсменов была достоверно выше, чем в контрольной группе, а частота осцилляций при этом, напротив, в контрольной группе превышала показатели квалифицированных спортсменов (табл. 2).

Полученные результаты позволяют предположить, что у спортсменов высокой квалификации наблюдается синхронизация работы двигательных единиц и одновременное их вовлечение в выполнение ударного движения. Наибольшая электрическая активность при этом регистрируется на трехглавой мышце плеча и локтевом сгибателе запястья.

Таким образом, у спортсменов высокой квалификации точность ударных действий обеспечивается совершенствованием внутримышечной (синхронизация работы двигательных единиц) и межмышечной координации (угнетение активности мышц-антагонистов, финальная вспышка активности мышц-сгибателей дистального отдела бьющей руки).

Стабилографическая характеристика выполнения прямого нападающего удара волейболистами различной квалификации

При стабилографическом анализе удара спортсменами высокой и низкой квалификации в опорном положении выявлены различия. Высококва-

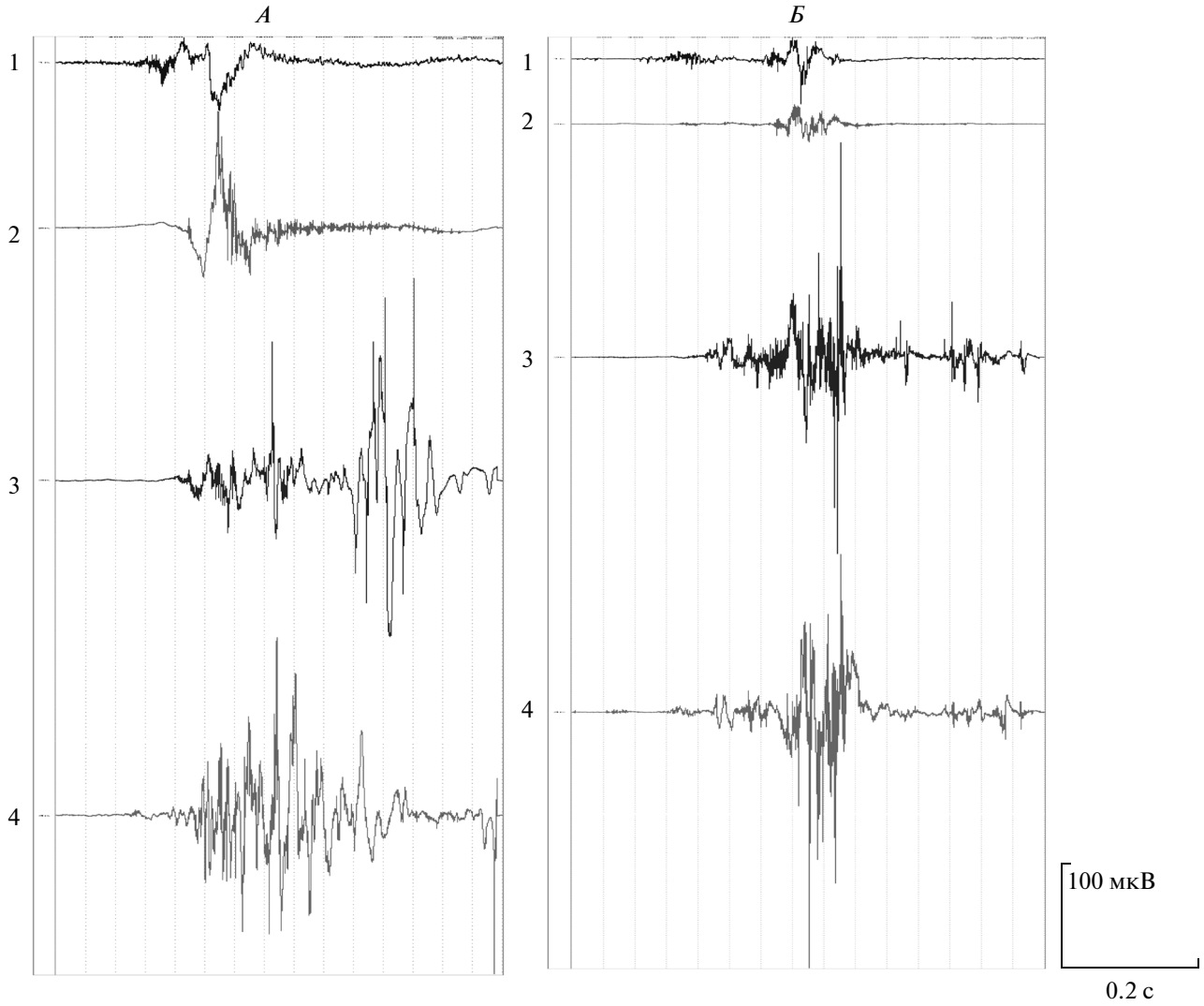


Рис. 2. Электромиограмма мышц бьющей руки при выполнении прямого нападающего удара волейболистами высокой (*А*) и низкой (*Б*) квалификации.
1 – *m. biceps brachii*, 2 – *m. extensor carpi ulnaris*, 3 – *m. flexor carpi ulnaris*, 4 – *m. triceps brachii*.
Внизу справа – калибровочный сигнал и отметка времени.

лифицированный спортсмен в подготовительной фазе удерживает общий центр давления (ОЦД) в исходном положении, после чего ОЦД перемещается вперед по траектории удара и возвращается назад. Отклонение в правую сторону отмечается только после контакта с мячом и является следствием инерционного движения правой руки (рис. 3, *А*). Начинающий волейболист уже в подготовительной фазе совершает перемещения ОЦД назад. В момент выполнения удара траектория движения ОЦД изогнута, что существенно снижает эффективность выполнения движения. В завершающей фазе для удержания равновесия спортсмен выполняет колебательные движения в обе стороны (рис. 3, *Б*).

Показатели равновесия и динамические характеристики стабилограммы также достоверно различались в исследуемых группах спортсменов (табл. 3). У квалифицированных спортсменов при выполнении данного технического приема величины смещения ОЦД и коэффициент асимметрии были вдвое ниже, чем у начинающих. Интегральный показатель – качество функции равновесия – у квалифицированных спортсменов был достоверно выше, чем в контроле. У квалифицированных волейболистов скорость движения ОЦД была достоверно ниже как во фронтальной, так и в сагиттальной плоскости. При этом коэффициенты асимметрии линейных скоростей в обеих плоскостях в контрольной группе были вдвое выше.

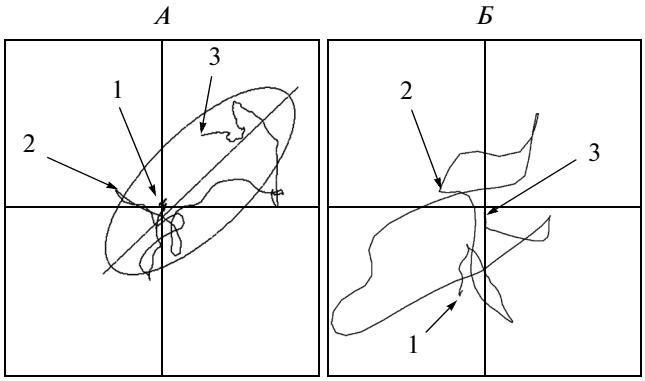


Рис. 3. Стабилограмма выполнения нападающего удара волейболистами высокой (*А*) и низкой (*Б*) квалификации.

Стрелками указаны: 1 – начало выполнения удара; 2 – момент удара по мячу; 3 – окончание движения.

Полученные результаты свидетельствуют о существовании принципиальных различий в технике выполнения прямого нападающего удара у начинающих и квалифицированных игроков студенческих волейбольных команд. Выявленные различия связаны, во-первых, с координацией движений туловища и руки в фазе полета, во-вторых, с организацией работы мышц бьющей руки и, в-третьих, с характером перемещения ОЦД спортсмена.

Для доказательства взаимосвязи названных параметров были определены корреляционные связи между характеристиками имитации прямого нападающего удара в опорном положении и выполнения этого удара в прыжке у волейболистов. Отмечена отрицательная корреляция между величиной угла ψ_1 и величиной отклонения по фронтали (коэффициент взаимной сопряженности Спирмена $r = -0.58$; $p < 0.05$), а также между величиной угла ψ_3 и величиной отклонения по фронтали (коэффициент взаимной сопряженности Спирмена $r = -0.62$; $p < 0.05$).

Таким образом, стабилографическая характеристика имитации прямого нападающего удара в опорном положении является адекватным отражением биомеханических особенностей выполнения этого удара в прыжке. Характер движений на стабилографической платформе отражает именно перемещения верхней части туловища в полетной фазе.

Полученные результаты позволяют предполагать, что обучение начинающих спортсменов управлению своим телом методом компьютерной стабилографической тренировки с биологической обратной связью будет способствовать формированию навыков координации движений в безопорном положении и повышению результативности ударных действий.

Стабилографическая тренировка с биологической обратной связью

Для изучения влияния компьютерного стабилографического тренинга с биологической обратной связью (БОС) на физиологические и биомеханические параметры двигательных действий в безопорном положении и на точность ударов по мячу, группа из 36 волейболистов низкой квалификации была разделена на 2 подгруппы по 18 человек – основную и контрольную. Обе подгруппы в течение 7 месяцев тренировались по стандартной программе, при этом в программу

Таблица 3. Показатели равновесия при выполнении прямого нападающего удара волейболистами различной квалификации ($X_{ср} \pm m$)

Характеристики стабилограммы при выполнении нападающего удара	Спортсмены высокой квалификации ($n = 24$)	Спортсмены низкой квалификации ($n = 36$)
Смещение, мм	4.01 ± 1.05	9.19 ± 2.12*
Коэффициент асимметрии относительно нуля, %	17.3 ± 3.6	38.3 ± 6.8*
Качество функции равновесия, %	19.3 ± 2.6	10.1 ± 2.2*
Средняя линейная скорость (фронталь), мм/с	64.3 ± 3.7	73.1 ± 3.7
Средняя линейная скорость (сагитталь), мм/с	75.8 ± 5.2	90.9 ± 6.8
Коэффициент асимметрии линейной скорости (фронталь), %	2.6 ± 0.4	6.1 ± 0.8*
Коэффициент асимметрии линейной скорости (сагитталь), %	0.8 ± 0.1	1.9 ± 0.1*

Таблица 4. Величины углов в биомеханической модели положения тела спортсменов основной подгруппы ($n = 18$) в безопорной фазе выполнения прямого нападающего удара ($X_{ср} \pm m$)

Период	ψ_1	ψ_2	ψ_3
1-й месяц	124 ± 9	224 ± 13	165 ± 11
7-й месяц	175 ± 11*	221 ± 12	176 ± 12*

* – достоверность различий между показателями у спортсменов в начале и в конце эксперимента – $p < 0.05$.

тренировок основной подгруппы был дополнительно включен комплекс для отработки навыков управления смещением ОЦД на стабилографе с биологической обратной связью. Занятия на стабилографическом тренажере проводились с периодичностью один раз в месяц и включали 10 сеансов по 10 минут. По окончанию курса тренировок с БОС оценивали физиологические и биомеханические параметры двигательных действий с использованием технических средств и приемов (видеосъемка, стабилография), а также проводился тест на точность ударов.

Сущность тренировки с БОС заключалась в том, что волейболист, располагаясь на стабилографической платформе, визуально контролировал параметры смещения ОЦД собственного тела. Чувство равновесия развивали с использованием специализированного программного обеспечения (“тренажеров”), предназначенного для этой цели и являющегося составной частью аппаратно-программного комплекса “Стабилан-01”.

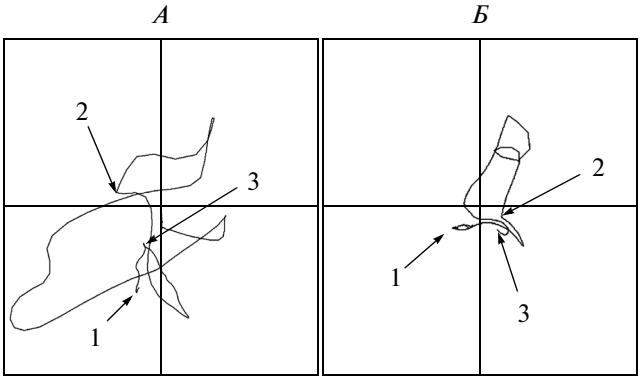


Рис. 4. Стабилограмма выполнения нападающего удара волейболистом основной подгруппы на 1-м (*А*) и на 7-м (*Б*) месяце тренировки с биологической обратной связью.

Стрелками указаны: 1 – начало выполнения удара; 2 – момент удара по мячу; 3 – окончание движения.

Тренажеры представляли собой компьютерные программы с формированием изображений на экране монитора, построенные для использования в интерактивном режиме с испытуемым. В процессе тренинга спортсмен, наблюдая за смещением ОЦД на экране монитора, учился управлять положением собственного тела, тренируя функцию равновесия.

Анализ видеозаписи выполнения прямого нападающего удара показал, что в ходе исследования существенно изменились физиологические и биомеханические характеристики выполнения ударов по мячу в прыжке. Из результатов, представленных в табл. 4, очевидно, что величины углов ψ_3 и ψ_1 достоверно увеличились к 7-му месяцу тренировок, при этом величина прогибания тела назад (угол ψ_1) не отличалась от величины, зафиксированной в группе спортсменов высокой квалификации (табл. 1).

При стабилографическом анализе удара в опорном положении смещение ОЦД назад в подготовительной фазе выражено значительно слабее (рис. 4). При этом величина отклонения по фронтали составила на 7-м месяце 4.8 ± 0.5 мм, что достоверно ниже в сравнении с показателями на 1-м месяце (8.6 ± 1.3 мм, $p < 0.05$), хотя оставалась выше, чем в группе квалифицированных спортсменов (3.5 ± 0.3 мм, $p < 0.05$). По всей вероятности, тренировка на стабилографической платформе с биологической обратной связью за счет формирования навыка координации движений звеньев тела улучшает способность управления телом в безопорном положении.

Формирование таких двигательных навыков обеспечивало прирост точности ударов по мячу в прыжке. Как видно из представленных в табл. 5 результатов, до проведения курса тренировок с БОС разница в результативности ударов между подгруппами отсутствовала. После завершения курса в обеих подгруппах наблюдался прирост эффективности выполнения ударов, однако их результативность в основной подгруппе была достоверно выше, чем в контрольной.

Помимо этого, исследовали влияние сбивающих факторов на точность ударов. Изменение целевой направленности ударов после начала выполнения приема существенно снижало их точность (табл. 5). Аналогично предыдущему тесту, в начале исследования разница в результативности ударов между подгруппами отсутствовала. На 7-м месяце тренировок эффективность выполнения ударов возрастала в обеих подгруппах, но в основной – в большей степени, чем в контрольной.

Таблица 5. Точность волейбольных ударов в прыжке ($X_{ср} \pm m$)

Задание	Основная подгруппа ($n = 18$)		Контрольная подгруппа ($n = 18$)	
	1-й месяц	7-й месяц	1-й месяц	7-й месяц
Удары сериями, % попаданий	67.2 ± 15.3	85.4 ± 12.4*	66.4 ± 14.3	72.6 ± 10.1*#
Удары с изменением целевой направленности, % попаданий	37.8 ± 21.5	66.7 ± 15.8*	38.1 ± 18.1	54.1 ± 11.7*#

* – достоверность различий внутри группы – $p < 0.05$; # – достоверность различий между группами – $p < 0.05$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование способности к поддержанию равновесия и координации движений у волейболистов проявляется в преобладании отклонений от вертикальной оси в сагиттальной плоскости, в снижении линейной скорости колебаний общего центра тяжести и коэффициента асимметрии.

Точность выполнения ударов по мячу в прыжке обеспечивается за счет возрастания амплитуды и снижения частоты биоэлектрической активности мышц, а также за счет удлинения фазы активности мышц-разгибателей бьющей руки и появления второй вспышки активности локтевого разгибателя запястья, которая по амплитуде становится выше первой. Таким образом, специфика проявления адаптивной тренированности у спортсменов высокой квалификации обусловлена изменениями характера межцентральных взаимоотношений, что находит отражение в изменениях амплитудно-частотных параметров биоэлектрической активности мышц.

Физиологические и биомеханические характеристики имитации прямого нападающего удара в опорном положении у волейболистов взаимосвязаны с биомеханическими особенностями выполнения этого удара в прыжке. При этом физиологическое обеспечение точности ударных действий связано, во-первых, с улучшением координации движений туловища и руки в фазе полета, во-вторых, с факторами внутримышечной и межмышечной координации бьющей руки и, в-третьих, с изменением характера перемещения общего центра давления спортсмена.

Установлено, что применение компьютерного стабилографического тренинга с биологической обратной связью способствует оптимизации физиологических и биомеханических параметров двигательных действий в безопорном положении, что в итоге обусловливает возрастание точности выполнения ударов по мячу в прыжке. Таким образом, активизируя специфические паттерны биоэлектрической активности мышц с формами межмышечной координации, классифицируемыми как оптимальные, можно улучшать выполнение профессиональных и спортивных навыков. Полученные результаты открывают перспективы применения метода компьютерной стабилографии для совершенствования техники выполнения точностно-целевых действий в безопорном положении в различных видах спорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Малахов М.В., Макаренкова Е.А., Мельников А.А., Викулов А.Д.* Оценка влияния задержки дыхания и гипервентиляции на устойчивость вертикальной позы человека с помощью спектрального анализа стабилографического сигнала // Физиология человека. 2014. Т. 40. № 1. С. 90.
2. *Tomasino B., Guatto E., Rumiati R. et al.* The role of volleyball expertise in motor simulation // Acta Psychologica. 2012. V. 139. № 1. P. 1.
3. *Burk J.M., Munkasy B.A., Joyner A.B. et al.* Balance error scoring system performance changes after a competitive athletic season // Clin. J. Sport Med. 2013. V. 23. № 4. P. 312.
4. *Ozer D., Duzgun I., Baltaci G. et al.* The effects of rope or weighted rope jump training on strength, coordination and proprioception in adolescent female volleyball players // J. Sports Med. Physical Fitness. 2011. V. 51. № 2. P. 211.
5. *Pau M., Loi A., Pezzotta M., Cristina D.* Sensorimotor training improve the static balance of young volleyball players? // Sports Biomechanics. 2012. V. 11. № 1. P. 97.
6. *Кривсун С.Н.* Концепция спортивной миографии // Теория и практика физ. культуры. 2012. № 9. С. 46.
7. *Nikolaidis P.T., Ziv G., Arnon M. et al.* Physical characteristics and physiological attributes of female volleyball players-the need for individual data // J. Strength Condit. Res. 2012. V. 26. № 9. P. 2547.
8. *Noyes F.R., Barber-Westin S.D., Smith S.T. et al.* A training program to improve neuromuscular indices in female high school volleyball players // J. Strength Condit. Res. 2011. V. 25. № 8. P. 2151.
9. *Afonso J., Garganta J., Mcrobert A. et al.* Visual search behaviours and verbal reports during film-based and in situ representative tasks in volleyball // Eur. J. Sport Sci. 2014. V. 14. № 2. P. 177.
10. *Borras X., Balius X., Drobnic F. et al.* Vertical jump assessment on volleyball: a follow-up of three seasons of a high-level volleyball team // J. Strength Condit. Res. 2011. V. 25. № 6. P. 1686.
11. *Sattler T., Sekulic D., Hadzic V. et al.* Vertical jumping tests in volleyball: reliability, validity, and playing-position specifics // J. Strength Condit. Res. 2012. V. 26. № 6. P. 1532.

12. *Wagner H., Pfusterschmied J., Tilp M. et al.* Upper-body kinematics in team-handball throw, tennis serve, and volleyball spike // Scand. J. Med. Sci. Sports. 2014. V. 24. № 2. P. 345.

13. *Gil A., Perla M.M., Moreno A. et al.* Analysis of the relationship between the amount of training and cognitive expertise. A study of young volleyball players // J. Strength Condit. Res. 2013. V. 27. № 3. P. 698.

14. *Sekulic D., Spasic M., Mirkov D. et al.* Gender-specific influences of balance, speed, and power on agility performance // J. Strength Condit. Res. 2013. V. 27. № 3. P. 802.

15. *Лях В.И.* Координационные способности: диагностика и развитие. М.: ТВТ Дивизион, 2006. 290 с.

16. *Nunes G.S., de Noronha M., Cunha H.S. et al.* Effect of kinesio taping on jumping and balance in athletes: a crossover randomized controlled trial // J. Strength Condit. Res. 2013. V. 27. № 11. P. 3183.

17. *Pietraszewski B., Struzik A.* Evaluation of selected biomechanical parameters in female team sports players // Acta Bioengineering Biomechanics. 2013. V. 15. № 4. P. 103.

18. *Kruse N.T., Barr M.W., Gilders R.M. et al.* Using a practical approach for determining the most effective stretching strategy in female college division I volleyball players // J. Strength Condit. Res. 2013. V. 27. № 11. P. 3060.

19. *Буравель О.И., Кошельская Е.В., Капилевич Л.В. и др.* Физиологические и биомеханические характеристики техники ударно-целевых действий футболистов // Бюл. эксперим. биологии и медицины. 2012. Т. 153. № 2. С. 235.

20. *Tomasino B., Maieron M., Guatto E. et al.* How are the motor system activity and functional connectivity between the cognitive and sensorimotor systems modulated by athletic expertise? // Brain Res. 2013. V. 1540. P. 21.

21. *Sharma A., Geovinson S.G., Sandhu J.S.* Effects of a nine-week core strengthening exercise program on vertical jump performances and static balance in volleyball players with trunk instability // J. Sports Med. Physical Fitness. 2012. V. 52. № 6. P. 606.

22. *Voelzke M., Stutzig N., Thorhauer H.A. et al.* Promoting lower extremity strength in elite volleyball players: Effects of two combined training methods // J. Sci. Med. Sport. 2012. V. 15. № 5. P. 457.

23. *Trajkovic N., Milanovic Z., Sporis G. et al.* The effects of 6 weeks of preseason skill-based conditioning on physical performance in male volleyball players // J. Strength Condit. Res. 2012. V. 26. № 6. P. 1475.

24. *Сороко С.И., Трубачев В.В.* Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. СПб.: Политехника-сервис, 2010. 607 с.

25. *Капилевич Л.В.* Физиологические механизмы координации движений в безопорном положении у спортсменов // Теория и практика физ. культуры. 2012. № 7. С. 45.

26. *Бернштейн Н.А.* Физиология движений и активность. М.: Наука, 1990. 370 с.

27. *Гаже П.-М., Вебер Б.* Постурология: Регуляция и нарушения равновесия тела человека. СПб.: Издательский дом СПбМАПО, 2008. 316 с.

28. *Гурфинкель В.С., Левик Ю.С.* Система внутреннего представления и управление движениями // Вестник РАН. 1995. Т. 65. С. 29.

29. *Бочаров М.И.* Частная биомеханика с физиологией движения. Ухта: УГТУ, 2010. 235 с.

Physiological Basis of the Improvement of Movement Accuracy with the Use of Stabilographic Training with Biological Feedback

L. V. Kapilevich, E. V. Koshelskaya, S. G. Krivoschekov

E-mail: kapil@yandex.ru

We studied the physiological parameters of ball hitting by volleyball players in unsupported position and opportunities for their improvement by training with biological feedback. Physiological and biomechanical parameters of a direct attack hit from supported position correlate with biomechanical features of jump shots. At the same time, the physiological basis of accuracy of shots consists of the improvement of trunk and arm movement coordination in the flight phase, the factors of intramuscular and intermuscular coordination of the hitting arm and the change in the displacement of the center of pressure. The use of computer stabilography training with biological feedback helps to optimize physiological and biomechanical parameters of physical actions in unsupported position, which ultimately causes an increase in the accuracy of jump hitting of the ball. The obtained results open the prospects for applying the method of computer stabilography to improve the performance of accuracy-targeted actions in unsupported position in various sports.

Keywords: regulation of movements, unsupported position, stabilography, volleyball, biological feedback.