

УДК 796.325:796.012.6(043.3)

К. К. Бондаренко¹, С. Ф. Ничипорко², Г. В. Новик³, С. А. Орельская⁴, Д. А. Хихлуха⁵

¹Кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой физического воспитания и спорта, УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», доцент кафедры физического воспитания и спорта, УО «Гомельский государственный медицинский университет», г. Гомель, Республика Беларусь

²Кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой физического воспитания и спортивных дисциплин, УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина», г. Мозырь, Республика Беларусь

³Кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой физического воспитания и спорта, УО «Гомельский государственный медицинский университет», г. Гомель, Республика Беларусь

⁴Старший преподаватель кафедры физического воспитания и спорта, УО «Гомельский государственный медицинский университет», г. Гомель, Республика Беларусь

⁵Старший преподаватель кафедры физического воспитания и спорта, УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», г. Гомель, Республика Беларусь

ОЦЕНКА ВЫПОЛНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ В ВОЛЕЙБОЛЕ

В статье рассмотрены результаты оценки основных двигательных действий в волейболе на основе биомеханических характеристик движения. Посредством видеоанализа движения рассчитаны временные характеристики длительности действия (подготовительной фазы движения, фазы отталкивания, времени взлёта и времени полёта), пространственные параметры (диапазон движения, высота выпрыгивания и расстояние между ногами в момент отталкивания) и пространственно-временной показатель – максимальная вертикальная скорость перемещения. Данные показатели позволили оценить характер блокирующего действия на сетке. При выполнении специальных упражнений блокирующего действия были выявлены угловые параметры изменения положения дистальных звеньев тела от проксимальных в суставных сочленениях.

Ключевые слова: кинематика движения, блокирующее действие, специальные упражнения, угловые положения, волейбол.

Введение

Правильное биомеханическое положение звеньев тела при выполнении двигательных действий позволяет значительно снизить количество травм у спортсменов [1]. Исходя из этого принципа, биомеханическое изучение основ волейбола определяется тремя основными элементами двигательной деятельности: подачей мяча (в прыжке и без него), приёмом мяча и выполнением атакующего удара. Эти три элемента имеют огромное значение в игре для достижения спортивного результата и возможностью стандартизации и стабильности движения [2].

Кроме того, эти три элемента включают в взрывные действия в плечевом (8 %) и коленных (59 %) суставах, которые являются суставами, наиболее страдающими от травм и перегрузок в волейболе. Острые травмы возникают при выполнении действий на блоке (27,6 % преимущественно в суставах пальцев и лодыжке) и в атаке (32,2 % в плечевом сочленении, 43,7 % в коленных и голеностопных сочленениях) [3].

Для оценки биомеханических параметров движения используется видеоанализ, выполненный в соревновательных или лабораторных условиях [4]. С его помощью осуществляется анализ уровня технической подготовленности спортсменов [5]. Данное обстоятельство способствует своевременному определению изменения траекторий движения при повышении уровня подготовленности спортсменов и, соответственно, изменении кинематики и динамики в суставных сочленениях [6; 7].

Оценка выполнения основных соревновательных действий с учётом биомеханических параметров движения позволяет не только определить проприоцептивные положения звеньев тела, но и построить модельные характеристики применения специальных упражнений в тренировочной деятельности [8; 9]. Вместе с тем механизмы использования специальных волейбольных упражнений должны соотноситься с уровнем физической и технической подготовленности спортсменов [10].

Цель работы заключается в определении кинематических характеристик движения волейболиста при выполнении основных игровых двигательных действий.

Методы и методология исследования

Исследование было проведено со студентами, занимающимися в спортивном отделении в секциях по волейболу на базе учреждений образования «Гомельский государственный медицинский университет» и «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины» в период с сентября по декабрь 2023 года. В исследовании приняли участие студенты, занимающиеся в секции волейбола, в возрасте от 18 до 22 лет. Всего было проанализировано 328 действий по выполнению специальных упражнений.

Видеоанализ движения выполнялся на основе видеоряда, полученного с помощью двух видеокамер, установленных во фронтальном и сагиттальном положениях. Обе видеокамеры были синхронизированы друг с другом, на основании чего был возможен анализ в трех плоскостях: фронтальной, сагиттальной и поперечной. Раскадровка видеоряда осуществлялась с помощью программного обеспечения «Photoshop». Посредством программного обеспечения «RaschetCOM» определялись суставные точки и общий центр масс тела. Это позволило определить положение звеньев тела в декартовой системе отсчета по осям (x, y, z), из которых можно идентифицировать центры суставов и центры масс звеньев и выполнить анализ пространственных значений (линейных и угловых), скорости и ускорения.

Результаты исследования и их обсуждение

Для сравнения различных двигательных действий в волейболе и определения типов перемещений, наиболее часто используемых в игре, а также оценки кинематических параметров был проведен количественный анализ временных, пространственных и угловых переменных, характерных для основных игровых действий. Первоначально определялись различия и сходства между некоторыми специальными упражнениями и основными видами движений. Это позволило идентифицировать и классифицировать специальные упражнения для разработки определенного условного и координирующего аспекта.

Определение кинематических характеристик человеческого тела рассматривалось с учетом регистрации и последующей обработки переменных, которые определяют пространственные движения различных сегментов тела. На основе механических принципов «движения твердых тел» были получены как линейные, так и вращательные смещения, скорость и ускорение тела и его сегментов, а также изменения положений в суставных сочленениях.

Суставные системы отсчета определялись по фазам и узловым элементам с описанием их пространственных вращений. Фактически вращения суставов представлены и рассчитаны как вращения вокруг определенных функциональных осей. Система отсчета строилась по неортогональным осям из-за того, что оси вращения не обязательно взаимно перпендикулярны.

Пространственное местоположение (полученное с помощью анатомических моделей тела) звеньев тела, соотнесенное по отношению к технической системе отсчета, определялось на основании калибровки анатомических результатов. Процедура предполагала следующие этапы: специальное программное обеспечение определяло положение заданных точек по отношению к суставным сочленениям сегментов и реконструкции координат, выраженных в декартовой системе отсчета.

Для кинематического анализа прыжка на блоке в движениях были выделены фазы, характеризующиеся временем, которое потребовалось рукам, чтобы выйти за пределы сетки, с учетом высоты выпрыгивания и вертикального смещения общего центра масс (ОЦМ). Оценивалось расстояние между стопами в момент наклона туловища, углы максимального сгибания бедер и коленей, расстояние проникновения рук за пределы сетки и угол сгибания запястья в момент максимального выпрыгивания. При выполнении блокирующего действия определялись временные параметры по фазам, пространственные характеристики перемещения и расстояния между звеньями и максимальная вертикальная скорость перемещения (таблица 1).

Таблица 1 – Кинематические параметры движения при выполнении блокирующего действия

Кинематические параметры движения	
Двигательные элементы	$x \pm \delta$
Длительность действия, с	
Подготовительная фаза	$0,28 \pm 0,16$
Фаза отталкивания	$0,26 \pm 0,09$
Время взлёта	$0,59 \pm 0,04$
Время полёта	$1,12 \pm 0,27$
Пространственные параметры, м	
Диапазон движения	$0,86 \pm 0,14$
Выпрыгивание	$0,40 \pm 0,49$
Расстояние между ногами	$0,371 \pm 0,64$
Скорость, м/с	
Максимальная вертикальная	$2,97 \pm 0,18$

Для оценки основных параметров движения был предложен тест со спрыгиванием со ступеньки высотой 15 см, размещенной на расстоянии 1 метра от сетки. После контакта с опорой выполнялось перемещение вдоль сетки вправо. Тест выполнялся в двух вариантах. В первом варианте – с приземлением на левую ногу и перемещением вправо, во втором варианте – приземление на две ноги и перемещение вправо.

При выполнении теста определялись угловые параметры изменения положения дистального звена от проксимального в суставных сочленениях. Отклонения дистальных звеньев нижних конечностей (за начальное положение было принято вертикальное положение спортсмена в основной стойке) определялись в момент контакта левой ноги с опорой (МК), в момент максимального подседания на опоре (ММП) и в момент отрыва левой стопы для бокового смещения (МО). Углы отклонения дистальных звеньев тела от проксимальных в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах левой ноги приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Угловые положения звеньев ног при выполнении теста со спрыгиванием (в градусах)

	Параметры	Для одной ноги $x \pm \delta$	Для двух ног $x \pm \delta$
Тазобедренный сустав	МК	$27,9 \pm 8,9$	$25,9 \pm 13,2$
	ММП	$46,5 \pm 16,3$	$41,1 \pm 12,4$
	МО	$25,7 \pm 14,5$	$27,8 \pm 12,1$
Коленный сустав	МК	$19,9 \pm 9,1$	$21,4 \pm 8,6$
	ММП	$61,6 \pm 9,4$	$67,2 \pm 5,0$
	МО	$31,4 \pm 9,8$	$32,6 \pm 13,3$
Голеностопный сустав	МК	$18,7 \pm 7,4$	$17,2 \pm 4,4$
	ММП	$18,1 \pm 7,3$	$21,2 \pm 8,6$
	МО	$7,9 \pm 4,3$	$12,1 \pm 2,4$
Время контакта, мс		$439,7 \pm 98,2$	$394,3 \pm 37,4$

Угловые параметры позволили определить угловые значения изменения положений звеньев нижних конечностей. Достоверности различий в кинематических характеристиках выполняемых движений между этими двумя тестами обнаружено не было ($P > 0,05$).

Для анализа биомеханики выпрыгиваний было предложено использование специальных упражнений. Они включали выполнение движения из положения готовности к выпрыгиванию по команде. Спортсмены выполняли движение в указанном тренером одним из двух направлений: вертикальное выпрыгивание вверх и вправо, для моделирования блока в зоне 2 и вертикальное выпрыгивание вверх и влево, для моделирования блока в зоне 4. Для каждого типа блокирующих действий было выполнено по 2 действия: подшагивание и прыжок вправо и влево ($2 + 2$); скрестный шаг и прыжок вправо и влево ($2 + 2$); прыжок на месте (2) в зоне 2 и в зоне 4 (по 2 на каждый тип шага, всего $4 + 4$).

При выполнении специальных упражнений определялись следующие временные фазы движения:

– старт – начало команды на выполнение действия (визуальный стимул для спортсмена был идентифицирован в первом кадре). В этом же кадре было идентифицировано начальное положение ОЦМ тела в исходном положении;

– подготовительное действие рассчитывалось от стартового кадра движения до момента, соответствующего минимальному значению вертикальной составляющей ОЦМ при вертикальном прыжке. В случае движения с перемещением оно начиналось в момент контакта опорной ноги и заканчивалось при минимальном значении ОЦМ (вертикальной составляющей) до прыжка. Это определяло фазу контрдвижения;

– фаза отталкивания начиналась с момента минимального положения ОЦМ и заканчивалась в момент отрыва от опоры;

– фаза взлёта начиналась в момент отрыва опорной стопы и заканчивалась в момент максимального возвышения ОЦМ;

– фаза полёта начиналась с момента отрыва от опоры и заканчивалась в момент касания опоры ногой;

– время выполнения блока начинается с начала максимального подъёма рук и заканчивается касанием опоры ногой;

– время достижения максимальной высоты начиналось с момента минимального положения ОЦМ и заканчивалось на пиковой высоте.

При выполнении упражнения игроки располагались перед сеткой с высоко поднятыми руками и наполовину согнутыми ногами, в позе готовности. Через равные промежутки времени подавался

сигнал, соответствующий действию игрока нападения противоположной команды, на который игрок должен был реагировать вертикальным прыжком. Последовательность перемещения во вторую и четвертую зоны оговаривалась до начала теста. Перемещение вправо (влево) осуществлялось при помощи приставного шага.

Прежде всего, была смоделирована ситуация, имитирующая действие атакующего соперника «первым темпом», на которое игрок должен отреагировать вертикальным выпрыгиванием, а при смещении атакующего соперника должен реагировать боковым перемещением.

Аналогично, для имитации атаки в четвертой зоне, необходимо было реагировать вертикальным выпрыгиванием в случае атаки «первым темпом» и влево – в случае передачи.

Техника смещения (скольжение или скрестным шагом) определялась перед каждым упражнением, и, поскольку это была симуляция атаки, спортсмен должен был стремиться к максимальной высоте при вертикальном выпрыгивании, максимальному расстоянию перемещения и максимальному проникновению рук над сеткой.

Помимо кинематического анализа техники, используемой в тактике защиты (как в вертикальном прыжке, так и в случае перемещения), эта процедура моделирования действия позволила измерить и проанализировать время реакции от подачи сигнала до начала движения (сумма времени восприятия, обработки и моторной реакции).

Оценка временных показателей определялась по выполнению вертикального прыжка, прыжка после выполнения приставного шага влево (вправо) и прыжка после выполнения скрестного шага влево (вправо).

Было выявлено, что подготовительная фаза занимает большую часть общего времени блокирующего действия (43–59 %) и демонстрирует значительную изменчивость. Перемещение составляет около 50 % продолжительности этой фазы и варьируется в зависимости от различных способов его.

Продолжительность подготовительного этапа имеет достоверность различий ($p < 0,05$) в зависимости от характера выполняемого блока. В частности, при прыжке на месте подготовительная фаза всегда короче блока при перемещении ($p < 0,05$). Различия между направлениями при одной и той же технике движения приставным шагом значительно короче относительно скрестного шага ($p < 0,05$) в обе стороны.

Подготовительная фаза включает в себя время реакции, понимаемое как время, прошедшее от сигнала «старт» до начала движения. Динамика времени реакции при выполнении вариативности блока приведена на рисунке 1.

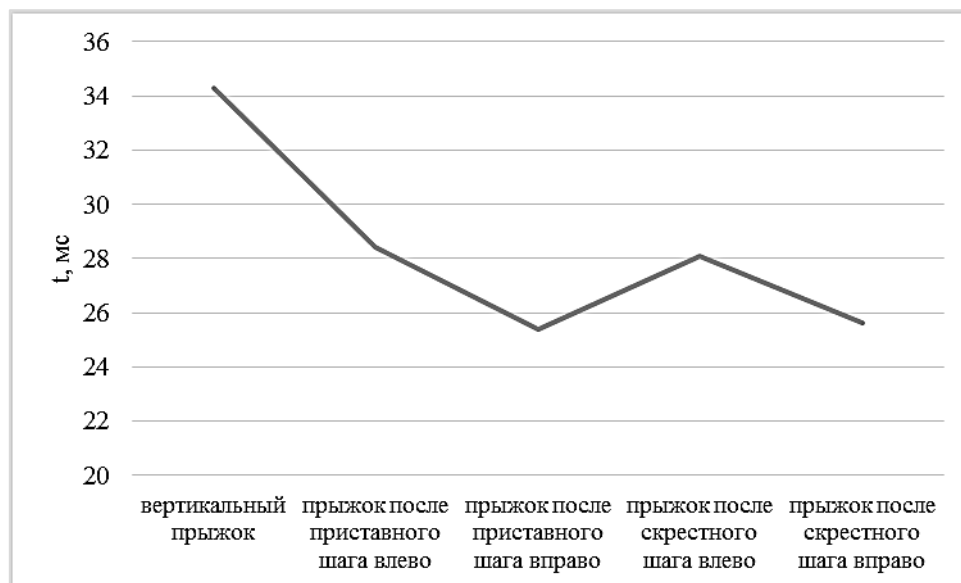


Рисунок 1 – Среднее значение времени реакции при выполнении блока различными способами

Средние значения времени реакции показывают, что данный показатель более реактивен, когда выполнялся приставной шаг вправо ($25,7 \pm 2,6$ мс), в то время как время реакции было замедленно, когда приходилось выполнять вертикальный прыжок ($34,1 \pm 5,2$ мс).

Статистический анализ, проведённый с помощью теста Т-критерия для связанных данных с целью определения каких-либо различий между типами смещения – приставным ($28,1 \pm 4,2$ мс) и скрестным ($29,3 \pm 4,4$ мс), не выявил достоверности различий ($t = 0,24$) между двумя типами перемещения в зависимости от направления.

Во время выполнения движения влево время реакции было больше ($34,1 \pm 3,8$ мс), чем при перемещении вправо ($28,3 \pm 3,4$ мс). Результат Т-критерия для связанных данных ($t = 0,006$) не выявил достоверности различий.

Принимая во внимание, что подготовительный этап включает в себя время реакции, продолжительность перемещения и безопорное положение, можно отметить, что спортсмены показали разные значения производительности в зависимости от используемой техники на блоке. В частности, время реакции было короче, когда им предлагали сделать боковое движение (приставным или скрестным шагом), а не вертикальный прыжок.

Значения времени взлёта коррелируют с показателями высоты выпрыгивания. Эта корреляция определяется силовыми параметрами нижних конечностей.

В вертикальном прыжке значения, относящиеся ко времени полета, составляют $0,67 \pm 0,08$ с.

При выполнении блока с перемещением время взлёта в среднем составляет 0,71 с в приставном шаге и 0,73 с в скрестном. Фаза взлёта соответствует половине времени полета. Любые отклонения были обусловлены приземлением с согнутыми, а не прямыми ногами. По этой причине анализ времени полета, высоты и вертикальной скорости (при взлете при сравнении техник и направлений) следует отнести к обсуждению результатов высоты выпрыгивания.

Заключение

Проведенное исследование, включающее в себя множество параметров, позволило определить индивидуальные параметры выполнения основных двигательных действий волейболистов на основе биомеханических показателей. Временные параметры выполнения специальных упражнений не выявили достоверности различий между выполнением перемещения приставными или скрестными шагами, что позволяет моделировать защитные действия вне зависимости от характера передвижения.

Выявленные диапазоны пространственных (величины перемещения, высота выпрыгивания и расстояния между опорными точками), временных (длительность действий в фазах движения) и пространственно-временных (максимальная вертикальная скорость) параметров выполнения блокирующего действия позволяют определить модельные характеристики движения. Определение допустимых диапазонов в суставных сочленениях (тазобедренном, коленном и голеностопном) в различных узловых положениях движения позволяет подобрать наиболее эффективные подводящие и корректирующие упражнения в подготовке волейболистов. Подобная кинетическая оценка изменений в суставных сочленениях и звеньях тела может быть использована, например, для более точного формирования структуры движения и для своевременного принятия соответствующих контрмер в случае отклонения биомеханических параметров по отношению к целевым показателям спортсмена, что указывает на возможный риск травмы.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бондаренко, К. К. Кинематические параметры узловых элементов в теннисной подаче / К. К. Бондаренко, А. Д. Лебедь // Медицина и физическая культура: наука и практика. – 2020. – Т. 2, № 4 (8). – С. 77–83.
2. Бондаренко, К. К. Влияние физических нагрузок на биомеханику движений в волейболе / К. К. Бондаренко, В. А. Сычова // Игровые виды спорта: актуальные вопросы теории и практики : сб. науч. ст. I Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти ректора ВГИФК В. И. Сысоева, Воронеж, 23–24 окт. 2018 г. – Воронеж, 2018. – С. 311–315.
3. Ломако, С. А. Анализ физической подготовленности занимающихся волейболом и баскетболом в медицинском ВУЗе / С. А. Ломако, А. А. Малявко, Г. В. Новик // Игровые виды спорта: актуальные вопросы теории и практики : сб. науч. ст. I Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти ректора ВГИФК В. И. Сысоева, Воронеж, 23–24 окт. 2018 г. – Воронеж, 2018. – С. 137–141.
4. Коршук, М. М. Использование видеоанализа движения для обучения подаче в бадминтоне [Электронный ресурс] / М. М. Коршук, А. Е. Бондаренко // Физическая культура и спорт в современном мире : сб. науч. ст. – Гомель, 2021. – С. 233–237. – Режим доступа: <https://elib.gsu.by/bitstream.pdf>. – Дата доступа: 14.02.2024.
5. Селиверстова, Н. В. Определение влияния специальных упражнений на параметры взрывных усилий студентов-волейболистов / Н. В. Селиверстова, М. Ю. Палашенко, М. Ф. Костырко //

Игровые виды спорта: актуальные вопросы теории и практики : сб. ст. IV Междунар. науч.-практ. конф. памяти ректора ВГИФК В. И Сысоева, Воронеж, 20–21 окт. 2022 г. – М., 2022. – С. 138–141.

6. Бондаренко, К. К. Взаимосвязь кинематических параметров движения с риском травматизма в метании копья / К. К. Бондаренко, А. Е. Бондаренко, В. А. Боровая // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2019. – № 4 (30). – С. 13–21.

7. Щученко, А. Г. Динамические составляющие движения руки при выполнении волейбольной подачи / А. Г. Щученко, С. В. Мартинович // Актуальные вопросы науки и образования : сб. науч. тр. I Междунар. науч.-практ. конф., Ульяновск, 14 апр. 2022 г. – Ульяновск, 2022. – С. 1183–1186.

8. Бондаренко, К. К. Биомеханические характеристики движений в коленных суставах хоккеистов / К. К. Бондаренко // II Европейские игры – 2019: психолого-педагогические и медико-биологические аспекты подготовки спортсменов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 04–05 апр. 2019 г. : в 4 ч. / УО БГУФК ; редкол.: С. Б. Репкин (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2019. – Ч. 2. – С. 39–42.

9. Хихлуха, Д. А. Построение модельных характеристик тренировочной деятельности / Д. А. Хихлуха, С. Б. Пирогов, А. В. Блашкевич // Современные технологии физического воспитания и спорта в практике деятельности физкультурно-спортивных организаций : сб. науч. тр. Всероссийской науч.-практ. конф. и Всерос. конкурса науч. работ в обл. физ. культ., спорта и безопасности жизнедеятельности, Елец, 26 апр. 2019 г. / Елец. гос. ун-т им. И. А. Бунина ; под общ. ред. А. А. Шахова [и др.]. – Елец, 2019. – С. 345–348.

10. Орельская, С. А. Оценка уровня физической подготовленности группы спортивной специализации по мужскому волейболу / С. А. Орельская, К. С. Семенов // Проблемы физической культуры населения, проживающего в условиях неблагоприятных факторов окружающей среды : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию УО ГГУ им. Ф. Скорины, Гомель, 08–09 окт. 2015 г. : в 3 ч. / ГГУ им. Ф. Скорины ; редкол.: О. М. Демиденко [и др.]. – Гомель, 2015. – Ч. 1. – С. 113–115.

Поступила в редакцию 22.03.2024

E-mail: nichiporko@inbox.ru

K. K. Bondarenko, S. F. Nichyporko, G. V. Novik, S. A. Orelskaya, D. A. Khikhluha

ASSESSMENT OF THE PERFORMANCE OF BASIC MOTOR ACTIONS IN VOLLEYBALL

The article deals with the results of evaluation of basic motor actions in volleyball on the basis of biomechanical characteristics of movement. By means of video analysis of movement, the time characteristics of action duration (preparatory phase of movement, push-off phase, take-off time and flight time), spatial parameters (range of motion, jump height and distance between legs at the moment of push-off) and spatial-temporal index – maximum vertical speed of movement – have been calculated. These parameters allowed us to evaluate the nature of blocking action on the net. When performing special exercises of blocking action, angular parameters of changing the position of distal links of the body from proximal ones in articular joints have been revealed.

Keywords: kinematics of movement, blocking action, special exercises, angular positions, volleyball.