

Кинематическая структура ударного действия при выполнении подачи в теннисе с использованием оптико-электронной системы регистрации и анализа движений «Qualysis»

Владимир Гамалий, Юрий Литвиненко

АННОТАЦИЯ

Цель. Определить количественные характеристики техники двигательных действий и общие закономерности их структурных взаимосвязей при выполнении подачи в теннисе.

Методы. Оптико-электронная система регистрации и анализа движений «Qualysis» (Швеция), программный пакет анализа движений в формате Visual 3D, методы математической статистики. В исследовании приняли участие три теннисистки, квалификация — мастер спорта Украины.

Результаты. Установлено, что индивидуальные биомеханические характеристики техники и динамика максимальных экстремумов линейной скорости соответствующих анатомических точек тела спортсменок и головки ракетки при выполнении подачи в теннисе имеют общие структурные особенности, на основании которых впервые выявлен и теоретически обоснован ранее неизвестный механизм передачи количества движения от опорных звеньев к ракетке у квалифицированных спортсменов.

Заключение. Полученные данные расширяют теоретические представления о механизмах взаимодействия звеньев тела спортсмена при реализации ударных действий, что дает возможность повысить энергетическую компоненту удара.

Ключевые слова: теннис, подача в теннисе, спортивная техника, энергия удара.

ABSTRACT

Objective. To determine the quantitative characteristics of motor actions and general regularities of their structural relationships during the execution of a tennis serve.

Methods. Optoelectronic system «Qualysis» (Sweden) was used for motion registration and analysis. Motion was analysed with a software package in format Visual 3D, and the data were interpreted with methods of mathematical statistics. The study involved three female tennis players with Master of Sport of Ukraine qualification.

Results. It was found that individual biomechanical characteristics of sport technique and dynamics of maximal extrema of linear velocity of appropriate anatomical body landmarks of athletes as well as the tennis racquet head during the execution of a tennis serve have common structural features, based on which first identified and theoretically substantiated a previously unknown mechanism of momentum transfer from support links to the racket in qualified athletes.

Conclusions. The data obtained extend the theoretical insights into the mechanisms of interaction between parts of athlete body during striking actions, which allows to increase the energy component of the strike.

Keywords: tennis, tennis serve, sport technique, energy of a strike.

© Владимир Гамалий, Юрий Литвиненко, 2013

Постановка проблемы. Современный этап развития тенниса характеризуется значительным ростом популярности этой игры и внимания к данному виду спорта. Интерес, проявляемый к успешным выступлениям наших теннисистов, стимулирует желание изучить, выявить и научно обосновать факторы, способствующие повышению результативности действий игроков и качества игры.

Разработка и внедрение новых технологий повышения эффективности тренировочного процесса является необходимым условием для достижения успехов в современном спорте [4, 5].

Большой вклад в разработку общих теоретических основ техники тенниса и подготовку игроков внесли многие специалисты [1—3, 6, 7].

Одной из характерных тенденций развития современного тенниса является постоянная эволюция и совершенствование техники ударных действий [5]. Это обусловлено бурным развитием материально-технической базы: использование синтетических и композитных материалов для производства ракеток. Компьютерное моделирование, позволяющее создавать все новые и новые образцы ракеток с уникальными аэро-динамическими и упругими свойствами, различной конфигурацией, величиной площади головки и управляемостью; новые типы покрытий; усовершенствованные струны, мячи. Все это привело к существенному изменению техники ударов, возрастанию темпа игры, к значительному увеличению скорости вылета мяча при исполнении всех технических приемов [1, 8]. Но одной из главных составляющих успешных действий теннисиста является его техническая подготовленность, базирующаяся, прежде всего, на глубоком понимании спортсменом механизмов построения движений при выполнении того или иного приема.

В связи с этим возникает необходимость углубленного исследования двигательной структуры современной техники ударных действий и разработки новых технологий формирования и совершенствования технического арсенала теннисистов, который не только влияет на стратегию и тактику соревновательного поединка, но и является необходимым условием для достижения успехов в этом виде спорта.

В основе двигательной программы тенниса лежат ударные действия и перемещение игрока по площадке [8, 9]. Построение движений при выполнении теннисистом ударного действия отличается значительной сложностью, обусловленной тем, что удар выполняется многозвенной системой «рука—ракетка» по летящему с большой линейной и угловой скоростью мячу, имеющему разные направления, траекторию и длину полета, а также высоту отскока.

Особое место среди ударов, которые выполняет теннисист на протяжении игры, занимают подачи. По мнению многих специалистов, подача — один из важнейших и самый сложный из приемов техники [1, 2, 4, 6] несмотря на то, что каждый раз выполняется из стандартного положения, многократно отработанного на тренировочных занятиях. С подачи начинают розыгрыш каждого очка. Качество подачи, успех от ее применения зависят только от подающего. Результаты матчей сильнейших теннисистов мира в современном теннисе определяются, в основном, эффективностью подачи. За последнее десятилетие техника выполнения подачи совершенствовалась и довольно быстро достигла такого уровня, при котором лучшие спортсмены мира, играющие современными мощными ракетками и хорошо владеющие техникой выполнения этого приема, часто имеют в своем арсенале «сверхзвуковую» первую подачу, скорость которой превышает $220 \text{ км} \cdot \text{ч}^{-1}$ [1].

Недостаточная мощность и точность подачи позволяют сопернику сразу же атаковать, не давая подающему выйти из удара. Следствием этого является полная деморализация игрока, развал его игры, даже если общая техническая подготовка достаточно высокая [3].

В связи с этим одной из актуальных проблем современного тенниса является изучение биомеханических основ построения ударного действия при выполнении подачи и оптимизация технологии его совершенствования. Исследования в этом направлении имеют важное теоретическое и практическое значение, так как отвечают запросам тренерской практики.

Ударными в биомеханике называются действия, результат которых достигается механическим ударом. Мерой ударного взаимодействия является не сила, а ударный импульс — $S = \int_{t_0} F dt$. За время удара скорость мяча изменяется на определенную величину. Это изменение прямопропорционально ударному импульсу и обратно пропорционально массе. Из механики известно, что скорость тела, по которому наносится удар, будет тем выше, чем больше масса (ударная масса) и скорость тела, наносящего удар (ракетки). В результате взаимодействия происходит изменение количества движения соударяющихся тел, следовательно, ударный импульс равен изменению количества движения — mv .

Цель ударного действия в теннисе состоит в том, чтобы добиться в результате нанесения удара по мячу оптимальной:

- ориентации вектора линейной скорости в пространстве (обеспечение точности попадания мяча в выбранное место площадки противника);
- оси и направления вращения мяча;
- линейной скорости вылета мяча;
- угловой скорости мяча.

В ударных действиях различают несколько фаз. В каждой решаются свои частные задачи, обеспечивающие реализацию процессов управления и энергообеспечения и достижение общей цели ударного действия.

1. Замах — движение, предшествующее ударному действию и приводящее к увеличению расстояния между ударным звеном и предметом, по которому наносится удар. Эта фаза вариативна и преследует цель создания благоприятных предпосылок для передачи количества движения от нижних конечностей к туловищу.

2. Ударное движение, или разгон ударяющего звена — это движение от конца замаха до начала ударного взаимодействия. Главная цель — сообщение максимальной скорости бьющему звену. Установлено, что включение мышц в работу при ударах имеет последовательный характер. Волна мышечной активности начинается с ног, распространяется далее на мышцы туловища, верхнего плечевого пояса, плеча и предплечья бьющей руки. В теннисе, благодаря передаче момента импульса от массивных звеньев нижних конечностей и туловища к звеньям верхней конечности с небольшой массой, происходит интенсивное увеличение скорости ракетки до максимальной. Если ударное звено во время удара дополнительно ускоряется за счет активности мышц, ударный импульс и соответственно скорость вылета мяча увеличиваются.

Основным энергетическим источником в ударных действиях является энергия мышечного сокращения, которая может увеличиваться за счет включения механизмов рекуперации энергии — переход кинетической энергии движения биоэлементов в потенциальную энергию растянутых мышц и сухожилий, а также в результате передачи энергии от звена к звену.

Одним из необходимых условий передачи движения от звена к звену является свободное расслабленное состояние соединения между звеньями. Если соединения между звеньями окажутся зажатыми, то вся энергия предыдущего звена расходуется на трение (у человека происходит дополнительная нагрузка на мышцы и связки, что часто приводит к травмам). В таком случае трансформация энергии не происходит. Только расслабленное сочленение передает энергию предыдущего звена с минимальными потерями.

3. Ударное взаимодействие, или собственно удар — столкновение ударяющихся тел, в результате которого происходит передача накопленной энергии бьющей руки с ракеткой мячу.

На протяжении главной фазы ударного действия — ударного взаимодействия — кинетическая энергия звеньев и напряженных мышц переходит в потенциальную энергию упругих деформаций мяча, струн, ракетки. Часть энергии переходит в тепло, рассеивается, тратится на деформацию тел и др. И наконец, потенциальная энергия упругих деформаций переходит в кинети-

ческую энергию мяча, которая сообщает ему линейную и угловую скорость вылета. Управление передачей энергии в фазе ударного взаимодействия происходит благодаря варьированию скорости ракетки, соотношению масс бьющего звена и мяча, а также жесткости соединения ударных звеньев. Скорость мяча после удара будет выше, если скорость ударяющего звена (ракетки) больше непосредственно перед ударом. Но при ударах в теннисе такая зависимость может не соблюдаться. При додате увеличение скорости ракетки может привести к снижению скорости вылета мяча, так как ударная масса при ударах, выполняемых спортсменом, непостоянна: она зависит от координации его движений. Если, например, выполнить удар за счет сгибания кисти или с расслабленной кистью, то с мячом будет взаимодействовать только масса ракетки и кисти. Если же в момент удара ударяющее звено закреплено активностью мышц-антагонистов и представляет собой как бы единое твердое тело, то в ударном взаимодействии будет принимать участие масса всего этого звена.

Координация движений при максимальных ударах подчиняется двум требованиям:

- 1) сообщение наибольшей скорости ударяющему звену (ракетке) к моменту соприкосновения с мячом;
- 2) увеличение ударной массы в момент удара. Это достигается «закреплением» отдельных звеньев ударяющего сегмента путем одновременного включения мышц-антагонистов (показано впервые профессором Л. В. Чхаидзе в 1939 г.) и увеличения радиуса вращения взаимодействующей в ударе массы.

4. Торможение движения ракетки — уменьшение скорости ракетки в направлении удара до полной остановки.

5. Завершение ударного действия — быстрый «выход» из удара. Выполнив подачу, игрок должен быстро вернуть ракетку в исходное положение и незамедлительно начать готовиться к следующему удару.

Наиболее распространенный способ анализа техники двигательных действий человека при выполнении любых физических упражнений — это визуальное наблюдение. Уязвимым звеном этой практики является зависимость точности информации от субъективности восприятия, которое присуще любому специалисту, проводящему

наблюдение. Основным недостатком визуального анализа является невозможность одновременного и непрерывного наблюдения за разными участками тела спортсмена в процессе движения. Визуальный контроль под единственным углом зрения может дать существенные ошибки в интерпретации наблюдаемого процесса, тем более, что человеческому глазу свойственно «пропускать» некоторые важные нюансы, длительность которых меньше 0,5 с. Отсутствие объективных (измеренных) и разносторонних данных зачастую приводит к тому, что при принятии решений специалистами приходится полагаться исключительно на свою интуицию.

Для изучения техники двигательных действий в теннисе также используют различные биомеханические методы регистрации движений [5], ведущее место среди которых занимают оптические — кино- и видеосъемка. Хотя преимущества этих традиционно используемых методов (дистанционная и бесконтактная регистрация движений) явно преобладают, они имеют и ряд недостатков. Как правило, регистрация изучаемого действия осуществляется в одной плоскости, что в значительной мере ограничивает объем получаемой информации и не дает возможности проведения всестороннего анализа изучаемого технического приема. Одновременная съемка двумя или тремя камерами требует достаточно сложных технических решений по их синхронизации и не всегда возможна в условиях тренировки и тем более соревнований. Еще одним недостатком традиционно используемых оптических методов является количество кадров, фиксируемых при съемке в единицу времени, т. е. частота съемки, которая при использовании обычной видеосъемочной аппаратуры не превышает 25—30 кадров в секунду, чего явно недостаточно для количественной оценки изучаемых быстротечных ударных взаимодействий, длительность которых измеряется миллисекундами. К сложностям проведения биомеханического анализа по результатам видеосъемки относится процедура получения количественных биомеханических характеристик изучаемого двигательного действия, их точность и форма представления (цифровая или аналоговая). Обычно это достаточно продолжительный и трудоемкий процесс, требующий от исследователя определенных знаний и сноровки проведения перед съемкой специальных подготовительных процедур, обе-



РИСУНОК 1 – Момент подготовки спортсмена Н-у для проведения исследований с использованием электронной системы «Qualisys»

спечающих метрологические требования к исследованиям подобного рода.

Наряду с оптическими методами используют акселерографию, тензографию, электромиографию и другие механо-электрические методики, но их практическое применение затруднено, поскольку вносит существенные изменения в естественное протекание изучаемого процесса, что в значительной степени влияет на качество получаемой информации.

Ситуация изменилась с появлением современных высокотехнологичных систем

измерения, наиболее эффективными среди которых стали системы анализа движения (известные на Западе как *motion capture* — системы захвата движения). Принцип работы подобных систем состоит в создании трехмерной модели движущегося человеческого тела с возможностью математического анализа основных аспектов локомоции, таких, как подвижность в суставах, угловые перемещения, скорости и ускорения (при кинематическом анализе), расчет силы реакции опоры, моментов сил в суставах и энергий (при кинетиче-

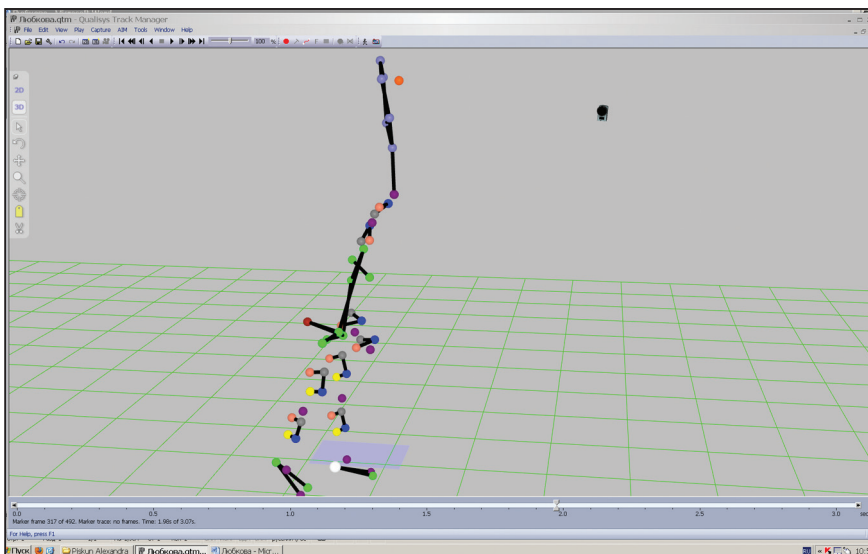


РИСУНОК 2 – Поза теннисиста как система маркеров (распечатка с экрана монитора)

ском анализе). Существуют несколько видов таких систем: ультразвуковые, магнитные и оптические. Наиболее приемлемыми для научных исследований в спорте, с точки зрения получения объективных данных, являются оптические системы [10].

Методы и организация исследования. В нашей работе мы использовали оптико-электронную систему регистрации и анализа движений «Qualisys» (Швеция). Главным компонентом этой системы являются высокочастотные цифровые камеры, предназначенные для бесконтактного анализа движений человека. Используемая нами система состояла из семи камер третьего поколения «Qqus Qualisys» и обработанных специальным светоотражающим покрытием маркеров шарообразной формы, которые прочно прикрепляются к телу спортсмена (рис. 1). При этом не требуется проводного соединения маркеров с другими элементами системы, что позволяет испытуемому совершать любые движения без каких-либо ограничений.

Маркеры отражают исходящее от камер инфракрасное излучение, которое, в свою очередь, регистрируется установленным в камере CCD датчиком, отправляющим сигнал в контролируемую систему компьютера.

Таким образом, в результате съемки оказываются видны только маркеры, а не сам исследуемый объект (рис. 2).

Автоматический тренинг двухмерных изображений маркеров дает трехмерные координаты. Ошибка линейных измерений (по данным сертификата фирмы-изготовителя) не превышает 0,01 мм на m^3 измеряемого пространства. Что немаловажно, точность результатов не зависит от условий освещения объекта съемки.

Скорость съемки может варьироваться в диапазоне от 30 до 1000 кадров в секунду, чего более чем достаточно для регистрации самых тонких нюансов движений человеческого тела в процессе выполнения физических упражнений разной направленности. В наших исследованиях частота съемки составляла 160 кадров в секунду.

Конфигурация расположения маркеров связана с настройками биомеханической модели, что позволяет получать данные о положении, скорости и ускорении как частей тела исследуемого, так и ракетки.

Программный пакет системы включает программу для анализа движений «Visual 3D», располагающую богатым инструмента-

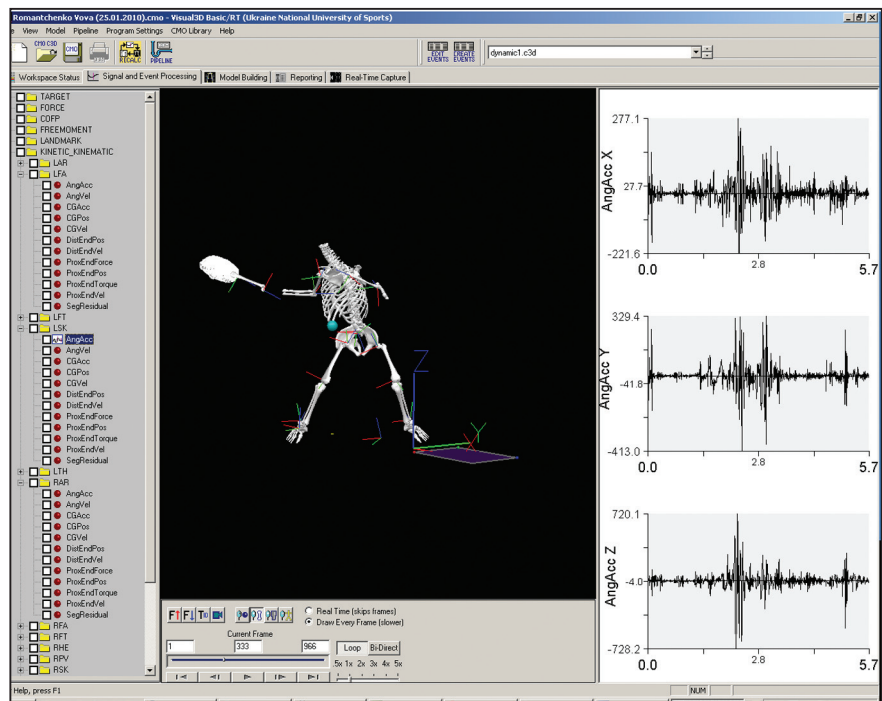


РИСУНОК 3 – Протокол результатов анализа подачи в теннисе (распечатка с экрана монитора)

рием для визуализации и количественного анализа различных параметров движения с последующей автоматической генерацией стандартизированных отчетов, представляющих собой подробную презентацию графических и цифровых данных (рис. 3).

Экспериментальные исследования проводились на базе лаборатории биомеханических технологий в физическом воспитании и олимпийском спорте НИИ УФВСУ. В эксперименте приняли участие мастера спорта Украины по теннису.

Рабочая гипотеза исследования: предполагалось, что количественные данные об индивидуальных особенностях техники двигательных действий при выполнении подачи в теннисе, а также о структурных взаимосвязях биомеханических характеристик этих действий у отдельных спортсменов, полученных в результате использования высокотехнологичных систем регистрации и анализа движений, позволят изучить биомеханизмы выполнения подачи и на этой основе индивидуализировать процесс технического совершенствования спортсменов.

Результаты исследования и их обсуждение. В качестве изучаемого действия была выбрана подача в теннисе, поскольку это упражнение выполняется, практически, в постоянных условиях с минимизацией сбивающих факторов, а

качество его выполнения целиком зависит от технического мастерства спортсмена. Ниже представлен биомеханический анализ действий спортсменок в лучших попытках. Вариативность действий при выполнении подачи наблюдалась в каждой попытке, но отмеченные характерные индивидуальные особенности действий каждой (как положительные, так и отрицательные) присутствуют во всех зарегистрированных подачах, что свидетельствует о достаточно высокой освоенности этого двигательного действия.

Биомеханический анализ подачи в исполнении спортсменки Л-й О. Продолжительность действий с момента начала отведения ракетки и поднятия руки с мячом и до ударного взаимодействия ракетки с мячом составляет 1,34 с, от момента подброса мяча и до момента удара — 1,1 с (табл. 1).

Ударное взаимодействие происходит на высоте 2,37 м и на расстоянии 0,66 м вперед—вправо от проекции центра массы (ЦМ) головы на опору, что позволяет спортсменке постоянно контролировать пространственное положение мяча. Вертикальная составляющая скорости снижения мяча в момент удара очень большая — $4,75 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, что создает дополнительные трудности в организации действий теннисистки и в определении момента удара. Перед окончанием замаха мак-

ТАБЛИЦА 1 – Индивидуальные биомеханические характеристики техники подачи в теннисе у испытуемых спортсменов

Спортсмен	Общее время подачи, с	Интервал времени от момента подброса мяча до момента удара, с	Максимальный угол между осью плеч и лицевой линией в момент замаха, град	Максимальный угол разгибания туловища в момент замаха, град	Максимальный угол между осями таза и плеч, град	Положение мяча по отношению к спортсмену в момент удара, м	Высота мяча в момент удара, м	Вертикальная составляющая скорости мяча в момент удара, м·с ⁻¹
Л-ва О.	1,34	1,1	99	42	23	0,66	2,37	4,75
П-н А.	1,044	0,654	126	56	24	0,33*	2,23	3,12
Б-й Е.	1,678	1,148	155	40	34	0,25*	2,77	3,27

Примечание. * — положение мяча сзади от перпендикуляра, проходящего через центр массы головы в момент удара.

ТАБЛИЦА 2 – Динамика максимальных экстремумов линейной скорости анатомических точек тела спортсменок и головки ракетки

Характеристика	Исследуемые точки					
	Сустав				ЦМ кисти	Головка ракетки
	коленный	тазобедрен.	плечевой	локтевой		
<i>Л-ва О.</i>						
№ кадра	296	294	307	311	310	316
$v, \text{ м·с}^{-1}$	1,76	2,78	3,55	8,04	10,07	34,39
$a, \text{ м·с}^{-2}$	—	—	—	—	—	131,1
Интервалы между пиками скорости, с		-0,012*	0,078	0,024	-0,006*	0,036
<i>П-н А.</i>						
№ кадра	218	217	232	229	238	247
$v, \text{ м·с}^{-1}$	1,99	2,56	2,57	7,87	9,78	33,73
$a, \text{ м·с}^{-2}$	—	—	—	—	—	140,0
Интервалы между пиками скорости		-0,006*	0,09	-0,018*	0,054	0,05
<i>Б-й Е.</i>						
№ кадра	343	342	349	354	364	377
$v, \text{ м·с}^{-1}$	1,89	3,13	3,69	7,27	10,93	29,96
$a, \text{ м·с}^{-2}$	—	—	—	—	—	94,57
Интервалы между пиками скорости		-0,006*	0,056	0,025	0,06	0,078

Примечание. * — максимум скорости данного сустава наблюдается раньше максимума скорости ниже расположенного сустава.

симальный разворот оси плеч относительно задней линии составляет всего 99°, разгибание туловища — 42°, угол между осями таза и плеч — 23°. Эти данные свидетельствуют о том, что спортсменка недостаточно использует механизм накопления энергии за счет «скручивания» туловища и наклона его в сторону, противоположную направлению удара.

Динамика нарастания скорости отдельных биозвеньев в кинематической цепи передачи движения от опорных звеньев к ракетке

за время выполнения подачи представлена в таблице 2.

Правый тазобедренный сустав достигает пика скорости 2,78 м·с⁻¹ в момент окончания замаха. Это происходит на 0,012 с раньше момента максимальной скорости коленного сустава правой ноги.

Через 0,078 с после максимума скорости тазобедренного сустава наблюдается максимум скорости плечевого сустава — 3,55 м·с⁻¹. Положительным на этом этапе прохож-

дения баллистической волны момента импульса является то, что максимальная скорость плечевого сустава выше скорости тазобедренного (рис. 4). Данная структурная особенность динамики разворачивания скорости этих суставов является одним из базовых компонентов механизма передачи движения от опорных звеньев и туловища к ракетке. При этом относительное движение плеча по отношению к туловищу во многом определяет эффективность передачи.

В процессе анализа обнаружено, что момент максимальной скорости кисти равен $10,07 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ и на $0,006 \text{ с}$ опережает пик скорости локтя $8,04 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Такую динамику скоростей можно объяснить тем, что кисть достигает максимума скорости раньше локтя за счет собственного движения относительно предплечья.

За $0,006 \text{ с}$ до максимума скорости локтя относительное движение кисти прекращается. Происходит фиксация связи кисти с предплечьем и ракеткой, за счет чего увеличивается взаимодействующая масса в момент удара. В то же время двухпиковое нарастание скорости локтевого сустава свидетельствует о скрытой тенденции торопливого начала «хлеста» бицепси предплечья—кисть—ракетка, что может происходить в результате закрепощения плечевого сустава. Это существенная «скрытая» ошибка, которая со временем может сформировать ритмовую структуру, когда предплечье вместо плеча станет ведущим звеном в передаче движения, что без сомнения отрицательно повлияет на скорость ракетки и ударную массу в момент взаимодействия с мячом. Однако несмотря на отмеченные ошибки в технике, скорость ракетки в момент ударного взаимодействия самая высокая среди обследованных спортсменов — $34,39 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Биомеханический анализ подачи в исполнении спортсменки П-н А. Продолжительность действия с момента выноса руки с мячом и до контакта ракетки с мячом составляет $1,044 \text{ с}$. Промежуток времени от момента подброса мяча и до удара — $0,654 \text{ с}$. Контакт ракетки с мячом происходит на высоте $2,23 \text{ м}$ со смещением по вертикали назад от проекции ЦМ головы на $0,33 \text{ м}$. Когда мяч в момент удара находится над головой—сзади, спортсменке затруднительно контролировать его положение и удар фактически происходит по принципу «как получится». Чрезмерное запрокидывание головы отрицательно влияет на координацию движений. Вертикальная скорость снижения мяча в момент удара выше $3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, что также создает дополнительные технические сложности выполнения удара.

В момент окончания замаха туловище наклонено назад на 56° , максимальный разворот оси плеч относительно задней линии составляет 126° . Угол «скручивания» оси плеч относительно оси таза в этот момент максимальный и равен 24° .

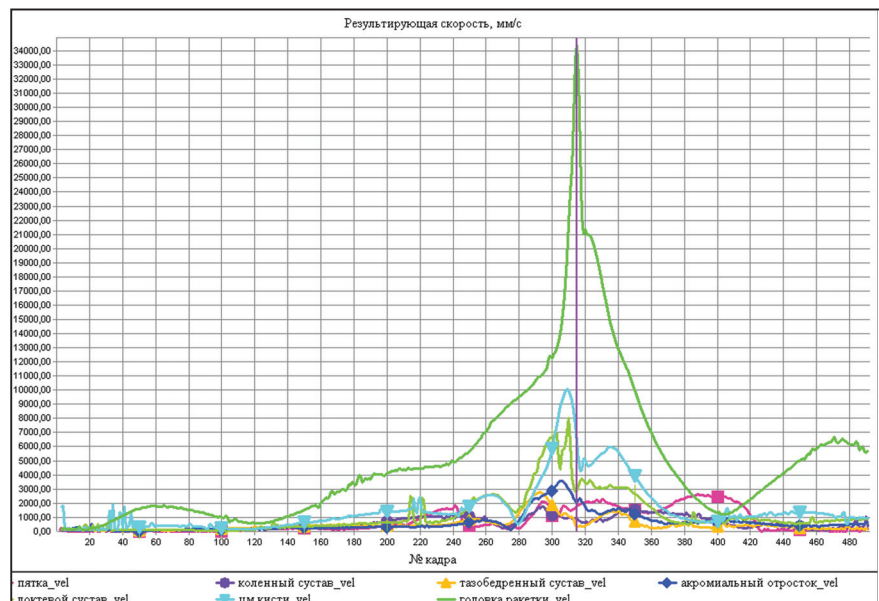


РИСУНОК 4 – Спидограммы исследуемых точек при выполнении подачи в теннисе мастером спорта Л-вой О. (распечатка с экрана монитора)

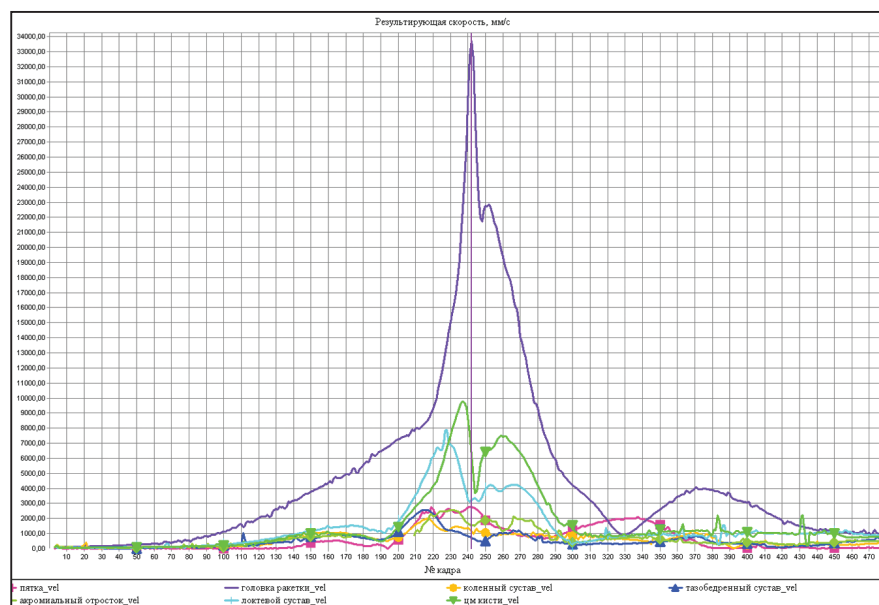


РИСУНОК 5 – Спидограммы исследуемых точек при выполнении подачи в теннисе мастером спорта П-н А. (распечатка с экрана монитора)

Перечисленные действия увеличивают амплитуду разгона ракетки и способствуют аккумуляции потенциальной энергии передварительно растянутых мышц и сухожилий, что способствует формированию благоприятных условий для последующего мощного сгибания туловища в направлении удара. Эту позу можно охарактеризовать как «заряженную» на удар; при этом спортсменка отдает большее предпочтение наклону туловища назад (56°), нежели «скручиванию» туловища по продольной оси.

Временная структура пиков максимальной скорости коленного и тазобедренного суставов такая же, как и у предыдущей спортсменки. Правый тазобедренный сустав достигает максимальной скорости — $2,56 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, что на $0,006 \text{ с}$ раньше коленного. Через $0,09 \text{ с}$ после пика скорости тазобедренного сустава плечевой сустав достигает максимальной скорости всего лишь $2,57 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Максимумы скорости тазобедренного и плечевого суставов одинаковы по абсолютной величине. Происходит

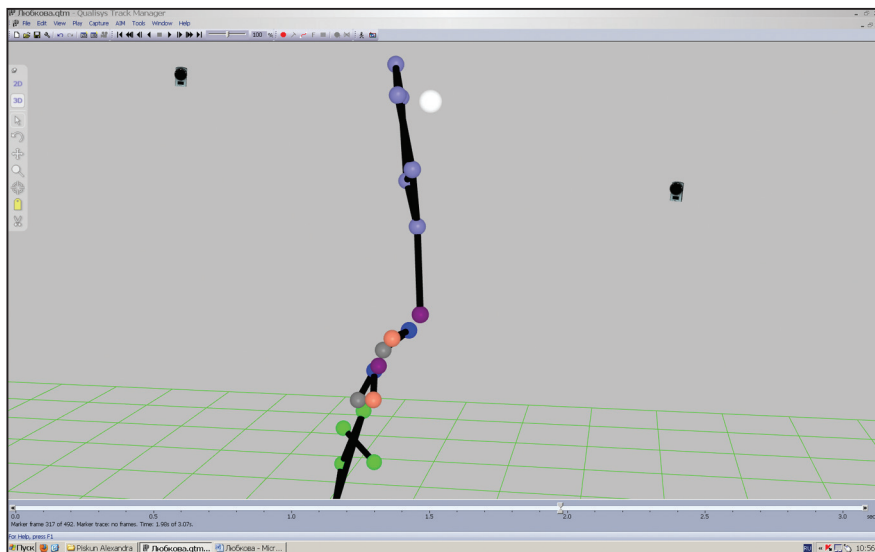


РИСУНОК 6 – Положение ракетки за 6 мс до момента контакта с мячом при выполнении подачи Б-й Е

явный провал в передаче кинетического момента. Причина этого — зажатое плечо, которое в данном случае составляет единое целое с туловищем, происходит потеря эффекта передачи движения. Отсутствие движения плеча относительно туловища является грубейшей ошибкой в механизме передачи баллистической волны импульса и провоцирует преждевременный максимум скорости локтевого сустава — $7,87 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (рис. 5).

Пик скорости кисти — $9,78 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ — отмечен через 0,05 с после максимума скоро-

сти локтя. Еще через 0,025 с скорость головки ракетки увеличивается до $33,73 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Биомеханический анализ подачи в исполнении спортсменки Б-й Е.

Общая продолжительность выполнения подачи 1,678 с. С момента подброса мяча и до удара — 1,148 с. Ударное взаимодействие происходит в прыжке на высоте 2,77 м! Положение мяча во время удара смещено назад по отношению к вертикали, проходящей через ЦМ головы спортсменки, на 0,25 м, что затрудняет визуальный контроль за мячом и укорачивает путь раз-

гона ракетки до момента удара, а также ограничивает работу кисти на завершающем этапе ударного взаимодействия. Вертикальная скорость снижения мяча в момент удара немного выше $3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, но использовать ее для увеличения скорости снижения мяча в результате ударного взаимодействия спортсменке не удастся, так как в этот момент ракетка приближается к апогею траектории, вертикальная составляющая ее скорости близка к нулю (рис. 6). К тому же при таком ударе существует большая вероятность перелета и выхода мяча за заднюю линию корта соперника. В замахе спортсменка эффективно использует энергию предварительного растяжения мышц, участвующих в ударном действии, за счет разворота оси плеч по отношению к задней линии корта на 155° , при наклоне туловища назад на 40° . Угол между осями плеч и таза (угол «скручивания») в этот момент самый большой среди всех обследованных спортсменов и составляет $34,5^\circ$. В таком положении верхняя часть туловища с позиции механики представляет не только согнутую пружину, но и мощный торсион со значительным запасом потенциальной энергии, которую спортсменка использует для передачи момента импульса руке с ракеткой.

Как и у предыдущих спортсменов, достижение максимумов скорости суставов правой ноги происходит в последовательности тазобедренный—коленный с интервалом 0,006 с. Разгибание в суставах правой ноги заканчивается мощным завершающим отталкиванием стопой. Максимальная скорость тазобедренного сустава $3,13 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Уже на этапе подготовительных действий спортсменка Б-й Е. имеет преимущество перед своими коллегами в абсолютных показателях скорости отдельных биозвеньев и в последующих фазах ударного действия наращивает его. Эффективность передачи импульса у этой спортсменки на этапе замаха и начала ударного действия самая высокая, о чем свидетельствует наращивание скорости биозвеньев в четкой последовательности от опорных звеньев к ракетке (рис. 7).

Максимальная скорость плечевого сустава составляет $3,69 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, что на $0,56 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ больше тазобедренного. Эта разница меньше, нежели у Л-й О., но при этом наблюдается большая абсолютная скорость. Максимальная скорость правого тазобедренного сустава ($3,13 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) и правого плеча ($3,69 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) с интервалом 0,056 с (почти в два раза больше, чем у двух предыдущих спортсменов) подчеркивает мощное движение туловища

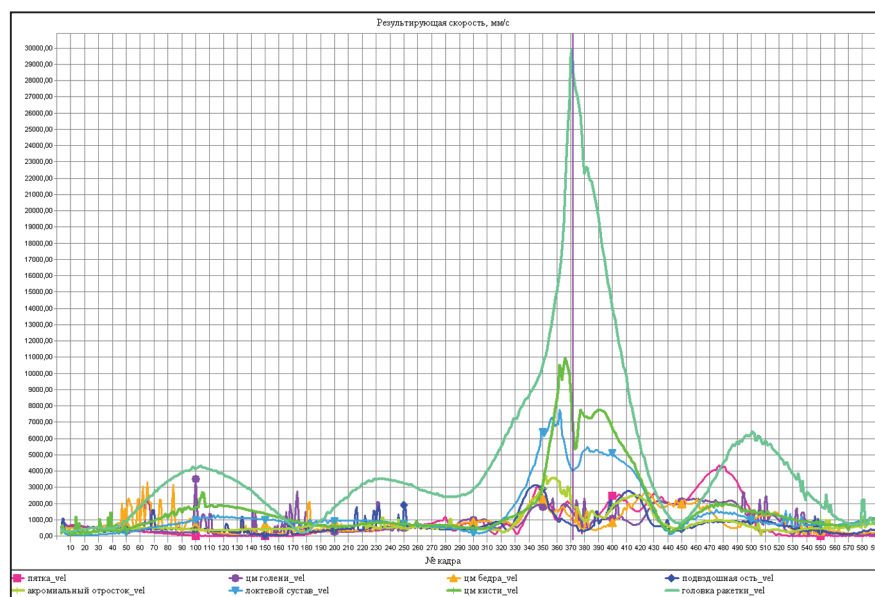


РИСУНОК 7 – Спидограммы отдельных анатомических точек тела спортсменки и ракетки при выполнении подачи мастером спорта Б-й Е. (распечатка с экрана монитора)

в начале ударного движения и независимое включение в работу этих звеньев, которое возможно при хорошей межмышечной координации и достаточной подвижности в плечевом суставе правой руки.

Максимальная скорость локтевого сустава ($7,27 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) могла быть значительно выше, но, по всей вероятности, положение приближающегося мяча (несколько сзади над головой) заставило спортсменку форсировать эту фазу ударного действия преждевременным акцентированным торможением плеча. В результате сократился путь разгона ракетки, но за счет «хлеста» предплечья и одновременного относительного движения кисти ее скорость увеличилась почти до $11 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (самый высокий показатель среди обследованных). В этой попытке у спортсменки были все предпосылки достичь значительно более высокой скорости ракетки в момент удара — $29,96 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, но преждевременное ударное взаимодействие, вызванное укорочением пути разгона ракетки из-за положения мяча и достаточно большой горизонтальной составляющей скорости ОЦМ тела в безопасном положении перед ударом ($1,4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$), не позволило ей реализовать эти возможности. Скорость кисти у этой спортсменки за $0,025 \text{ с}$ до удара самая большая среди всех обследованных, а скорость ракетки в момент удара наоборот — самая низкая. Это явно результат дефицита пространства для завершающего разгона ракетки. Отмеченные особенности выполнения подачи мастером спорта Украины Б-й Е. наблюдаются во всех зарегистрированных попытках, что свидетельствует о достаточно прочном двигательном навыке выполнения этого упражнения, но некоторые нюансы техники требуют коррекции.

Проведенный биомеханический анализ техники подачи в теннисе в исполнении мастеров спорта Украины Л-й О., П-н А. и Б-й Е. подтверждает явно выраженную индивидуальную манеру выполнения этого физического упражнения каждой спортсменкой. Визуально внешняя форма движения тела и его отдельных биозвеньев незначительно отличаются у всех теннисисток, принявших участие в эксперименте, что создавало обстановку (по оценке тренеров и самих спортсменов) относительного благополучия в плане технической подготовленности при выполнении этого игрового действия. Процессы, продолжительность которых составляет сотые, а то и тысячные доли секунды, не воспринимаются человеческим глазом, и это при том, что их роль в организа-

ции двигательного действия значительная, а иногда и решающая. Получение информации стало возможным в результате использования современной оптико-электронной системы регистрации и анализа движений «Qualisys» с высокой дискретностью фиксации моментов биомеханического состояния двигательной системы спортсменов.

Полученные данные о технике выполнения подачи в теннисе девушками — мастерами спорта Украины позволили выявить как индивидуальные (изложены ранее), так и общие для всех закономерности и механизмы реализации этого сложнейшего двигательного действия.

Все обследованные спортсменки выполняют удар по мячу, который имеет вертикальную скорость снижения больше $3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, а у Л-й О. — $4,75 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Как свидетельствует мировая практика, удар по мячу при выполнении подачи осуществляется в верхней точке траектории подъема или в зоне начала падения, когда скорость близка к нулю или минимальна. В противном случае от спортсмена требуется большая приспособительная вариативность действий при ударе, что значительно снижает точность этого действия и его мощность. Необходимо разработать и применять в тренировочном процессе комплекс педагогических средств для формирования у спортсменок четкого представления о том, где должна находиться точка начального контакта ракетки и мяча, так называемая «точка удара». Также необходимо постоянно совершенствовать чувство высоты его подброса) и направление траектории при подбрасывании. У П-н А. и Б-й Е. во время удара мяч находится за линией проекции головы. Визуальный контроль за мячом, который находится вверху над головой, а тем более вверху—сзади, создает дополнительные трудности: чрезмерное запрокидывание головы отрицательно влияет как на пространственную ориентацию, так и на координацию движений; сокращается путь разгона ракетки, что не позволяет ей достичь максимально возможной скорости к моменту ударного взаимодействия, а следовательно, и его мощности. Во время ударного взаимодействия мяч должен находиться в верхней точке траектории подъема и впереди—справа от линии проекции ЦМ головы на опору.

В момент удара по мячу, имеющему достаточно высокую скорость падения и рас-

положенному впереди—вверху по отношению к спортсменке, вертикальная скорость падения мяча складывается с вертикальной составляющей скорости ракетки, которая уже прошла вертикаль и движется по окружности вперед—вниз, чем достигается увеличение скорости снижения мяча. Но для осуществления результативной подачи соответственно должна увеличиться горизонтальная составляющая скорости мяча, иначе чрезмерно быстрое его снижение может произойти на половине корта подающего и мяч попадет в сетку. Чтобы этого не случилось необходимо варьировать направление вектора результирующей скорости мяча. Поэтому, выполняя удар по мячу с достаточно большой скоростью падения, спортсмен, выигрывая в скорости вылета мяча, рискует проиграть в точности траектории его полета. К тому же приспособительная вариативность действий, которая увеличивается пропорционально скорости мяча, не обеспечивает достаточной надежности и результативности выполнения этого игрового упражнения. Анализ игр с участием спортсменов экстра-класса подтверждает, что в подаче удары по мячу, имеющему достаточно большую скорость падения, применяются очень редко и только в первой подаче. Феномен опережения максимума скорости коленного сустава тазобедренным наблюдается при выполнении подачи у всех обследованных спортсменок. С позиции механики такую последовательность включения биозвеньев в работу вряд ли можно считать эффективной. Но в данном случае мы рассматриваем это явление как положительное.

Разгибание в голеностопном и коленном суставах правой ноги на протяжении замаха происходит одновременно. Следовательно, скорость тазобедренного сустава представляет результирующую сумму скоростей разгибания голени и бедра. Поэтому в какой-то момент времени, его скорость будет выше скорости лежащих ниже суставов. Но разгибание в коленном суставе прекращается раньше, чем в голеностопном. На этот момент в коленном и тазобедренном суставах уже произошло должное разгибание, подвижные соединения биозвеньев правой ноги приобретают определенную жесткость. Но продолжающееся разгибание в голеностопном суставе правой ноги вызывает отмеченный пик скорости коленного сустава и дополнительный импульс в систему масс звеньев нижней конечности, зафиксирован-

ных как единая масса. Этот импульс, полученный в результате разгибания в голеностопном суставе при взаимодействии стопы с опорой, увеличивает амплитуду наклона туловища назад, в результате которого происходит еще большее растяжение мышц — сгибателей туловища и плеча, а амплитуда ракетки в замахе увеличивается на 2—4 см. Это один из механизмов использования инерционных процессов в энергетическом обеспечении ударных взаимодействий.

Из-за сложности регистрации и распознавания описанного механизма накопления количества движения системой спортсмен—ракетка при выполнении подачи (длительность этого действия 4—6 мс) информация о нем в специальной литературе отсутствует. По всей вероятности, его возникновение можно отнести к разряду самоорганизующихся систем, когда в процессе их развития (совершенствования) происходит приспособительная оптимизация взаимодействий (как внутренних, так и внешних относительно тела человека), способствующих решению генеральной цели (в данном случае — передачи движения от опорных звеньев к ракетке).

Выводы

1. Установлены биомеханические закономерности строения (состав и структура) действий квалифицированных спортсменов

при выполнении подачи в теннисе на основе анализа экспериментальных результатов исследования ударных действий. Эти данные могут быть использованы для формирования у тренеров и спортсменов объективного представления о технике выполнения подачи в теннисе.

2. Установлено, что включение мышц в работу при выполнении подачи имеет последовательный характер. Волна мышечной активности начинается с ног, распространяется далее на мышцы туловища, верхнего плечевого пояса, плеча и предплечья бьющей руки. Благодаря передаче момента импульса от опорных массивных звеньев нижних конечностей к расположенным выше происходит увеличение скорости ракетки до максимальной. Рациональность механической структуры ударного действия обеспечивается координированной работой мышц биомеханического аппарата исполнения и управления спортсмена и проявляется в строгой последовательности их включения.

3. Впервые зарегистрирован и получил обоснование ранее неизвестный механизм передачи количества движения от опорных звеньев к ракетке у квалифицированных спортсменов. Новым в этом механизме является то, что максимум скорости тазобедренного сустава опережает максимум скорости коленного сустава. Это одна из воз-

можностей получения дополнительного импульса силы за счет продолжающегося взаимодействия стопы с опорой и разгибания в голеностопном суставе, а также использования инерционных процессов в энергетическом обеспечении ударных взаимодействий.

4. Выявленные механизмы строения ударных действий и наиболее информативные показатели их оптимальности у квалифицированных теннисисток при выполнении подачи могут применяться в следующих целях:

- для контроля и коррекции движений теннисиста как тренером, так и для самоконтроля и самооценки при выполнении подачи;
- для определения локализации ошибок в положениях и движениях отдельных звеньев опорно-двигательного аппарата теннисиста при выполнении подачи;
- для выявления путей исправления ошибок в технических и тактических действиях теннисиста при выполнении подачи;
- для выбора путей оптимизации ударных действий при выполнении подачи теннисистами разной квалификации.

5. Биомеханическое обоснование механизмов выполнения подачи в теннисе позволяет целенаправленно планировать индивидуальную техническую подготовку теннисистов на основе формирования кинематической структуры ударного действия.

Литература

1. Белиц-Гейман С. П. Сильная подача всей игре голова / С. П. Белиц-Гейман // Матчбол Теннис. — 1998. — № 2. — С. 80—83.
2. Гилбэрт Б. Победа любой ценой: Психологическое оружие в теннисе : уроки мастерства // Б. Гилберт, С. Джеймсон. — М.: Олимп-Бизнес, 2004. — 324 с.
3. Голенко В. А. Академия тенниса / В. А. Голенко, А. П. Скородумова, Ш. А. Тарпищев. — М.: Дедалус, 2002. — 240 с.
4. Губа В. П. Особенности подготовки юных теннисистов / В. П. Губа, Ш. А. Тарпищев, А. Б. Самойлов. — М.: СпортАкадемПресс, 2003. — 132 с.
5. Зайцева Л. С. Биомеханические основы строения ударных действий и оптимизация технологии обучения: (на примере тенниса): автореф. дис. на соискание учен. степени доктора пед. наук / Л. С. Зайцева. — М., 2000. — 54 с.
6. Зайцева Л. С. Пути повышения эффективности ударов в теннисе / Л. С. Зайцева // Современный олимпийский спорт и спорт для всех : материалы конф., 24—27 мая 2003 г.: VII Междунар. науч. конгр. — М., 2003. — Т. 2. — С. 248—249.
7. Теннис мирового класса / [под ред. П. Райтера, Д. Гроппеля; пер. с англ.]. — М.: Эксмо, 2004. — 304 с.
8. Янчук В. Н. Теннис. Простые истины мастерства / В. Н. Янчук. — М.: АСТ-ПРЕСС, 2001. — 224 с.
9. Brody H. Racket Technology and Tennis Strokes / H. Brody // ITF Coaching & Sports Sci. Rev. — 2001. — Iss. 24. — P. 13—14.
10. Roetert E. P. Biomechanics of Movement in Tennis / E. P. Roetert, T.S.E1-lenbecker // ITF Coaching & Sports Sci. Rev. — 2001. — Iss. 24. — P. 15—16.

References

1. Belits-Geyman S. P. A strong serve is a head of all game / S. P. Belits-Geyman // Matchball Tennis. — 1998. — № 2. — P. 80—83.
2. Gilbert B. Victory at all costs: The psychological weapon in tennis: Skill lessons // B. Gilbert, S. Jameson — M.: Olymp-Business, 2004. — 324 p.
3. Golenko V. A. Tennis academy / V. A. Golenko, A. P. Skorodumova, Sh. A. Tarpishchev, A. B. Samoylov. — M.: Dedalus, 2002. — 240 p.
4. Guba V. P. Training features of young tennis players / V. P. Guba, Sh. A. Tarpishchev, A. B. Samoylov. — M.: SportAcademPress, 2003. — 132 p.
5. Zayceva L. S. Biomechanical basis of the shock actions structure and optimization of technologies learning (for example tennis): Dissertation author's abstract of the doctor of pedagogical sciences / L. S. Zayceva. — M., 2000. — 54 p.
6. Zayceva L. S. Ways to improve strokes in tennis / L. S. Zayceva // The modern Olympic sport and sport for all : Conference materials, 24—27th may 2003 : 7th International researcher congress — M., 2003. — T. 2. — P. 248—249.
7. World class tennis / [Ed. by P. Riter, D. Groppe], trans. from the ant.] — M.: Eksmo, 2004. — 304 p.
8. Yanchuk V. N. Tennis. Simple skill truth / V. N. Yanchuk. — M.: Ast-Press, 2001. — 224 p.
9. Brody H. Racket Technology and Tennis Strokes / H. Brody // ITF Coaching & Sports Sci. Rev. — 2001. — Iss. 24. — P. 13—14.
10. Roetert E. P. Biomechanics of Movement in Tennis / E. P. Roetert, T.S.E1-lenbecker // ITF Coaching & Sports Sci. Rev. — 2001. — Iss. 24. — P. 15—16.