

БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНИКИ ПОДАЧИ В ТЕННИСЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ РЕГИСТРАЦИИ ДВИЖЕНИЙ

Гамалий В. В., Литвиненко Ю. В.

Национальный университет физического воспитания и спорта Украины

Аннотация. Представлены количественный и качественный анализы характеристик техники двигательных действий квалифицированных теннисисток при выполнении подачи. Данные, полученные с помощью современных оптико-электронных систем регистрации и анализа движений, дают возможность углубленного изучения сущности механизмов построения и реализации этих движений в условиях соревновательной деятельности.

Ключевые слова: теннис, подача в теннисе, спортивная техника, техническая подготовка.

Анотація. Гамалій В. В., Литвиненко Ю. В. Біомеханічний аналіз техніки подачі в тенісі з використанням сучасних оптико-електронних систем реєстрації рухів. Представлено кількісний та якісний аналіз характеристик техніки рухових дій кваліфікованих тенісисток при виконанні подачі. Дані, одержані за допомогою сучасних оптико-електронних систем реєстрації та аналізу рухів, дають можливість поглибленого вивчення сутності механізмів побудови та реалізації цих рухів в умовах змагальної діяльності.

Ключові слова: теніс, подача в тенісі, спортивна техніка, технічна підготовка.

Abstract. Gamaly V., Lytvynenko Y. Biomechanical analysis equipment supply in tennis using the latest optic electronic movement recording. The article presents quantitative and qualitative analysis of the characteristics of equipment of motor actions in the performance of skilled tennis players in the filing. Data obtained with the help of modern optic electronic systems for registration and motion analysis, allow in-depth study of the essence of the mechanisms of construction and realization of these movements in terms of competitive activity.

Key words: tennis, serve in tennis, sports equipment, technical training.

Введение. Одной из характерных тенденций развития современного тенниса является постоянная эволюция и совершенствование техники ударных действий [1; 6].

Особое место среди ударов, которые выполняет теннисист на протяжении игры, занимают подачи [1; 4; 5; 8]. По мнению многих специалистов, подача – один из важнейших и самый сложный из приемов техники теннисиста, несмотря на то, что каждый раз выполняется из стандартного положения, многократно отработанного на тренировках [1; 2; 4; 6; 9].

Недостаточная мощность и точность подачи позволяет противнику сразу же атаковать, не давая подающему даже выйти из удара. Следствием этого является полная деморализация игрока, развал его игры, даже если его общая техническая подготовка достаточно высока [1; 3; 7].

В связи с этим одной из актуальных проблем современного тенниса является изучение биомеханических основ строения ударного действия при выполнении подачи, что и явилось **целью** нашего исследования. Исследования в этом направлении имеют важное теоретическое и практическое значение, так как отвечают запросам тренерской практики [1; 6].

Для изучения техники двигательных действий спортсменов при выполнении подачи мы использовали оптико-электронную систему регистрации и анализа движений «Qualisys» (Швеция), которая состояла из семи камер и маркеров, которые прикрепляются к телу спортсмена. В результате съёмки на мониторе видны только маркеры, а не сам исследуемый объект (рис. 1).

Автоматический тренинг двумерных изображений маркеров дает трёхмерные координаты. Ошибка линейных измерений (по данным сертификата

фирмы-изготовителя) не превышает 0,01 мм на метр измеряемого пространства. В наших исследованиях частота съёмки составляла 160 кадров в секунду.

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

Результаты исследований. В качестве исследуемого действия была выбрана подача в теннисе, поскольку это упражнение всегда выполняется, практически, в постоянных условиях с минимизацией сбивающих факторов, а качество его выполнения целиком зависит от технического мастерства спортсмена. Ниже, в качестве примера, представлен биомеханический анализ техники выполнения подачи мастером спорта Украины Л-ой О.

Продолжительность действий с момента начала отведения ракетки и подъема 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 зарегистрировано 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 положение мяча. Вертикальная составляющая скорости снижения мяча в момент удара – 4,75 м·с⁻¹. Достаточно большая скорость мяча создает дополнительные трудности в организации действий теннисистки и в определении момента удара. Перед окончанием замаха максимальный 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 энер-

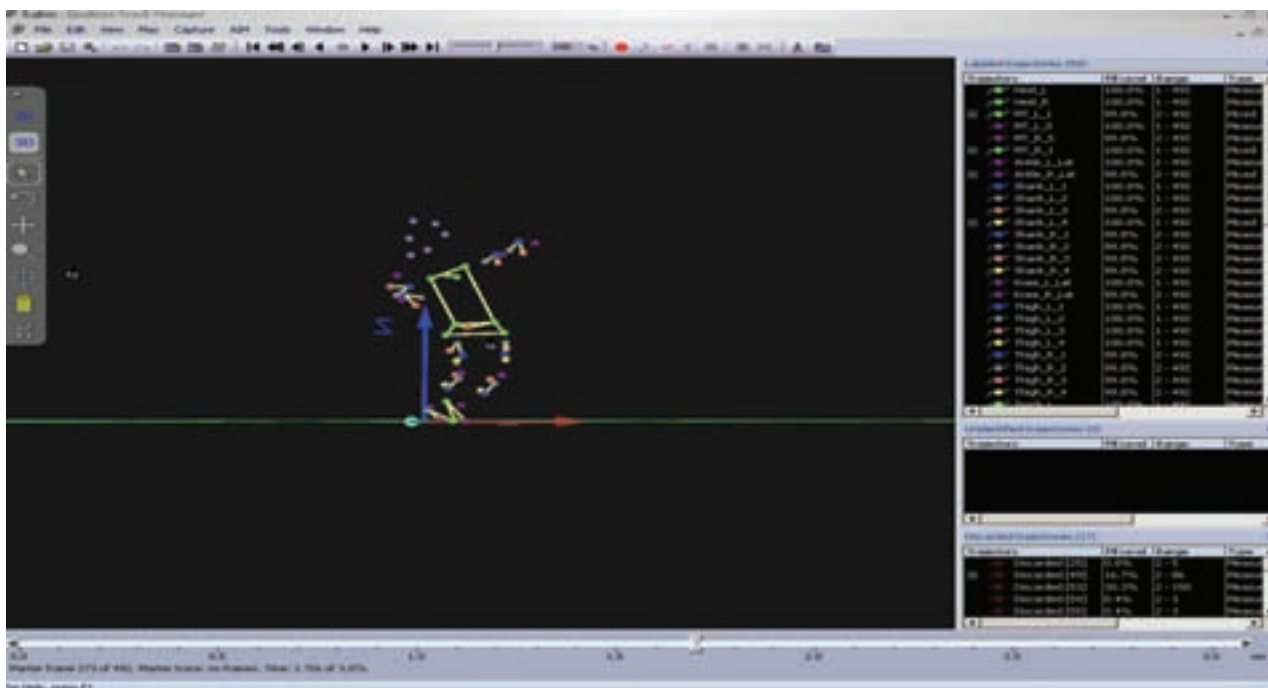


Рис. 1. Поза теннісиста як система маркерів (распечатка с экрана монитора)

Таблица 1

Индивидуальные биомеханические характеристики техники подачи в теннисе спортсменки Л-вой О.

Характеристики	Значение
Общее время подачи, с	1,34
Интервал времени от момента подброса мяча до момента удара, с	1,1
Максимальный угол между осью плеч и лицевой линией в момент замаха, градусы	99
Максимальный угол разгибания туловища в момент замаха, градусы	42
Максимальный угол между осями таза и плеч, градусы	23
Положение мяча по отношению к спортсмену в момент удара, м	0,66
Высота мяча в момент удара, м	2,37
Вертикальная составляющая скорости мяча в момент удара, м·с ⁻¹	4,75

Таблица 2

Динамика максимальных экстремумов линейной скорости анатомических точек тела спортсменки и ракетки при выполнении подачи

Характеристики	Исследуемые точки					
	Коленный сустав	Тазобедренный сустав	Плечевой сустав	Локтевой сустав	ЦМ кисти	Головка ракетки
Л-ва О.						
№ кадра	296	294	307	311	310	316
v , м·с ⁻¹	1,76	2,78	3,55	8,04	10,07	34,39
a , м·с ⁻²	–	–	–	–	–	1311
Интервалы между пиками скорости, с		-0,012*	0,078	0,024	-0,006*	0,036

Примечание: * – максимум скорости отмеченного сустава опережает максимум скорости нижерасположенного сустава

Гамалий В. В., Литвиненко Ю. В. БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНИКИ ПОДАЧИ В ТЕННИСЕ С ИС-

гии 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 табл. 2.

Правый тазобедренный сустав достигает пика скорости $2,78 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ в момент окончания замаха. Это происходит на $0,012 \text{ с}$ раньше момента максимальной скорости коленного сустава правой ноги.

Через $0,078 \text{ с}$ после максимума скорости тазобедренного сустава наблюдается максимум скорости плечевого сустава – $3,55 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Положительным на этом этапе прохождения баллистической волны момента импульса является то, что максимальная скорость плечевого сустава выше скорости тазобедренного (рис. 2). Эта структурная особенность динамики разворачивания скорости этих двух суставов является одним из базовых компонентов механизма передачи движения, в основе которого лежит относительное движение плеча по отношению к туловищу.

В процессе анализа обнаружено, что момент максимальной скорости кисти $10,07 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ 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 и за $0,006 \text{ с}$ до максимума скорости локтя прекращает это движение. Происходит фиксация связи кисти с ракеткой и предплечьем, за счет чего увеличивается взаимодействующая масса в момент удара. С другой стороны, двухпиковое нарастание скорости локтевого сустава свидетельствует о скрытой тенденции торопливого начала «хлеста» биоцепи предплечье-кисть-ракетка, что может происходить в результате закрепощения плечевого сустава. Но, несмотря на ошибки в технике, скорость ракетки в момент ударного взаимодействия самая высокая среди обследованных спортсменов – $34,39 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ с положительным ускорением $1311 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$.

Обсуждение результатов анализа. Полученные данные о технике выполнения подачи в теннисе

девушками мастерами спорта Украины позволили выявить как общие для всех, так и индивидуальные закономерности и механизмы выполнения подачи. Ниже представлены комментарии, касающиеся общих проблем техники выполнения подачи в теннисе.

Все обследованные спортсменки выполняют удар по мячу, который имеет вертикальную скорость снижения больше $3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а у Л-вой – $4,75 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Как свидетельствует мировая практика, удар по мячу при выполнении подачи осуществляется в верхней точке траектории подъема, или в зоне начала падения, когда скорость его минимальна и близка к нулю. В противном случае от спортсмена требуется большая приспособительная вариативность действий при подаче, что в значительной мере снижает, прежде всего, точность этого действия и его мощностные. Визуальный контроль за мячом, который находится сверху над головой, а тем более сверху-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 достичь ей максимально возможной скорости к моменту ударного взаимодействия, а следовательно, и его мощностные. Во время ударного взаимодействия мяч должен находиться впереди-справа от линии проекции ЦМ головы на опору.

В момент удара по мячу, имеющему достаточно высокую скорость падения и расположенному 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. Анализ игр с участием спортсменов высокого класса свидетельствует, что в подаче удар по мячу, имеющему достаточно большую скорость падения, применя-

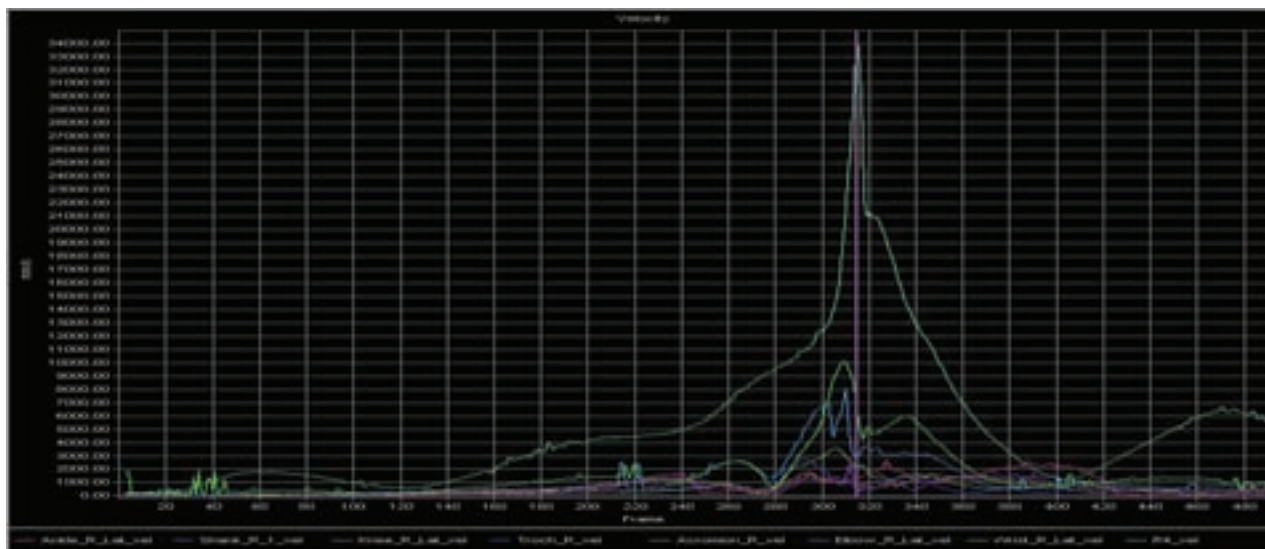


Рис. 2. Спидограммы исследуемых точек при выполнении подачи в теннисе мастером спорта Украины Л-ой О. (распечатка с экрана монитора)

ється очень редко.

На протяжении главной фазы ударного действия – ударного взаимодействия – кинетическая энергия звеньев и энергия напряженных мышц переходит в потенциальную энергию упругой деформации мяча, струн ракетки. Часть энергии переходит в тепло, рассеивается, тратится на деформацию тел и т. д. И наконец, потенциальная энергия упругих деформаций переходит в кинетическую 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 больше скорость ударяющего звена (ракетки) непосредственно перед ударом. Но при ударах в теннисе такая зависимость может не соблюдаться. При подаче 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.

Феномен опережения максимума скорости коленного сустава тазобедренным наблюдается при выполнении подачи у всех обследованных спортсменов. С позиции механики такую последовательность включения биоосей в работу вряд ли можно считать эффективной. Но в данном случае мы считаем это явление как положительное по следующей причине.

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 нижележащих суставов. Но разгибание в коленном суставе прекращается раньше, нежели в голеностопном. На этот момент в коленном и тазобедренном суставах уже произошло должное разгибание, подвижные соединения биоосей правой ноги приобретают определенную жесткость и представляют единую массу. Дополнительный импульс в систему масс звеньев нижней конечности, зафиксированных как единая масса, добавляет продолжающееся разгибание в голеностопном суставе правой ноги при взаимодействии стопы с опорой, что и вызывает отмеченный пик скорости коленного сустава. В это время заканчивается мах. Туловище интенсивно движется по направлению к опоре, а масса нижних конечностей – от опоры. Заключительный импульс, полученный в результате разгибания в голеностопном суставе, увеличивает амплитуду наклона туловища назад. Это один из механизмов использования инерционных процессов в энергетическом обеспечении ударных взаимодействий.

Отсутствие должной подвижности в плечевом суставе нарушает рациональную последовательность

включения звеньев в работу, а следовательно, и прохождение баллистической волны импульса от опорных звеньев к бьющему звену (к ракетке). Создание максимальной скорости системы «рука-ракетка» происходит за счет передачи момента импульса от нижележащих массивных звеньев к вышерасположенным. Величина скорости этой системы зависит от моторного потенциала мышц биомеханического аппарата исполнения, а также от интенсивности и своевременности его реализации. Рациональность механической структуры ударного действия обеспечивается благодаря координированной работе мышц биомеханического аппарата исполнения и управления спортсмена и проявляется в строгой последовательности их включения. Ограничение должной подвижности в том или ином суставе на пути прохождения баллистической волны импульса отрицательно сказывается на мощности ударного действия. Устранение этой ошибки может значительно повысить эффективность выполнения подачи.

Выводы:

1. Установлены биомеханические основы строения (состав и структура) действий квалифицированных спортсменов при выполнении подачи в теннисе на основе анализа результатов исследования ударных действий. Эти данные могут быть использованы для формирования у тренеров и спортсменов объективного представления о технике выполнения теннисных приемов.

2. 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. Благодаря передаче момента импульса от нижележащих массивных звеньев к вышерасположенным 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. Результаты исследования ударных действий и наиболее информативные показатели их оптимальности у квалифицированных теннисистов при выполнении подачи могут применяться в следующих целях: контроль и коррекция движений теннисиста (как тренером, так и самоконтроль и самооценка); определение локализации ошибок в положениях и движениях отдельных звеньев опорно-двигательного аппарата теннисиста; выявление путей исправления ошибок в технических и тактических действиях теннисиста; выбор путей оптимизации ударных действий у теннисистов.

4. Экспериментальные данные о биомеханических механизмах выполнения подачи в теннисе позволяют целенаправленно планировать техническую подготовку теннисистов и непосредственно формировать специфику динамической структуры ударного действия и структурно-функциональную специализацию работы мышц биомеханического аппарата управления и биомеханического аппарата исполнения теннисиста.

Перспективы дальнейших исследований связаны с поиском путей оптимизации технологии совершенствования ударных действий в теннисе.

Литература:

1. Белиц-Гейман С. П. Сильная подача всей игре голова / Белиц-Гейман С. П. // *Матчбол Теннис*. – 1998. – № 2. – С. 80–83.
2. Голенко В. А. Академия тенниса / В. А. Голенко, А. П. Скородумова, Ш. А. Тарпищев. – М. : Дедалус, 2002. – 240 с.
3. Губа В. П. Особенности подготовки юных теннисистов / В. П. Губа, Ш. А. Тарпищев, А. Б. Самойлов. – М. : СпортАкадемПресс, 2003. – 132 с.
4. Зайцева Л. С. Биомеханические основы строения ударных действий и оптимизация технологии обучения (на примере тенниса) : [автореф. дис...докт. пед. наук] / Зайцева Л. С. – М., 2000. – 54 с.
5. Зайцева Л. С. Пути повышения эффективности ударов в теннисе / Зайцева Л. С. / *Современный олимпийский спорт и спорт для всех* : [мат. конф., 24–27 мая 2003 г. : 7 междунар. науч. конгр.]. – М., 2003. – Т. 2. – С. 248–249.
6. Иванова Г. П. Биомеханические аспекты управления ударным движением : [учеб. пособ.] / Г. П. Иванова, А. Н. Першин. – М. : РГАФК, 2000. – 71 с.
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. Roetert E. P. Biomechanics of Movement in Tennis / E. P. Roetert, T. S. E1lenbecker // *ITF Coaching & Sports Science Review*. – 2001. – P. 11–21.