

## ОСНОВЫ КАЧЕСТВЕННОГО БИОМЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ФИЗИЧЕСКОГО УПРАЖНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ ТЕХНИКИ ПОДАЧИ В ТЕННИСЕ

*В статье представлены количественный и качественный анализ характеристик техники двигательных действий квалифицированных теннисисток при выполнении подачи. Данные дают возможность углубленного изучения сущности механизмов построения и реализации этих движений в условиях соревновательной деятельности и на этой основе индивидуализировать техническую подготовку спортсменов.*

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

### **Постановка проблемы. Анализ последних источников и публикаций**

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 [5]. 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 [3, 7].

Особое место среди ударов, которые выполняет теннисист на протяжении игры, занимают подачи [1, 4]. По мнению многих специалистов, подача – один из важнейших и самый сложный из приемов техники теннисиста [1, 2, 4, 6] несмотря на то, что каждый раз выполняется из стандартного положения, многократно отработанного на тренировках. 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 и оптимизация технологии его совершенствования. Исследования в этом направлении имеют важное теоретическое и практическое значение, так как отвечают запросам тренерской практики. Качественный биомеханический анализ физических упражнений дает возможность объективно определить сущность технических ошибок в двигательных действиях спортсменов, найти пути устранения этих ошибок. В предлагаемой статье он рассматривается как один из основных резервов совершенствования тренировочного процесса.

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

Отсутствие объективных (точных) и разносторонних данных зачастую приводит к тому, что при принятии решений специалистами приходится полагаться исключительно на свою интуицию. Поэтому для изучения техники двигательных действий в спорте используются различные биомеханические методы регистрации движений, ведущее место среди которых занимают оптико-электронные системы. Принцип их работы состоит в создании трёхмерной модели движущегося человеческого тела с возможностью математического анализа основных аспектов локомоции.

### **Методы исследования**

Для изучения техники двигательных действий спортсменов при выполнении подачи мы использовали оптико-электронную систему регистрации и анализа движений "Qualisys" (Швеция), в состав которой входит семь синхронизированных между собой камер, что позволяет получать трехмерные координаты светоотражающих маркеров, которые наносят на исследуемые точки тела спортсмена. Частота съемки 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.** Ниже, для примера, представлен биомеханический анализ действий мастера 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).

Таблица 1

### **Индивидуальные биомеханические характеристики техники подачи в теннисе**

Спортсмен	Общее время подачи, с	Интервал времени от момента подброса мяча до момента удара, с	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
Л-ва О.	1.34	1.1	99	42	23	0.66	2.37	4.75

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 –  $4.75 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ . 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  $99^\circ$ , разгибание туловища  $42^\circ$ , угол между осями таза и плеч  $23^\circ$ . 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 биоэлементов 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.

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
$v, \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$	1,76	2,78	3,55	8,04	10,07	34,39
$a, \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$	-	-	-	-	-	1311
Интервалы между пиками скорости, с		-0,012*	0,078	0,024	-0,006*	0,036

*Примечание.* \* – максимум скорости отмеченного сустава опережает максимум скорости сустава, расположенного ниже

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. 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" бицепса предплечье-кисть-ракетка, что может происходить в результате закрепощения плечевого сустава. Это существенная "скрытая" ошибка, которая со временем может сформировать ритмовую структуру, при которой 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. Но, несмотря на отмеченные ошибки в технике, скорость ракетки в момент ударного взаимодействия самая высокая среди обследованных спортсменов –  $34.39 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ .

**Обсуждение результатов анализа.** Все обследованные спортсменки выполняют удар по мячу, который имеет вертикальную скорость снижения больше  $3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , а у Л-ой –  $4.75 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ . 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 мощность.

У некоторых спортсменов во время удара мяч находится за линией проекции центра массы головы. 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 мощности. 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. Поэтому, выполняя удар по мячу с достаточно большой скоростью падения, спортсмен, выигрывая в скорости вылета мяча, рискует проиграть в точности траектории полета мяча.

На протяжении главной фазы ударного действия – ударного взаимодействия кинетическая энергия звеньев и энергия напряженных мышц переходит в потенциальную энергию упругих деформаций 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 биозвеньев 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 биозвеньев 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 в направлении 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.

В силу сложности регистрации описанного выше механизма накопления количества движения системой спортсмен-ракетка при выполнении подачи (длительность этого действия 4-6 Мс) информация о нем в специальной литературе по теннису 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).

Создание максимальной скорости системы "рука-ракетка" происходит за счет передачи момента импульса от нижележащих массивных звеньев к выше расположенным. 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.** Изучены биомеханические основы строения (состав и структура) действий квалифицированных спортсменов при выполнении подачи в теннисе на основе анализа экспериментальных результатов исследования ударных действий. Установлено, что рациональность механической структуры ударного действия обеспечивается координированной работой мышц биомеханического аппарата исполнения и управления спортсмена и проявляется в строгой последовательности их включения.

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 возможностей 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.

Биомеханический анализ двигательных действий, позволяющий получать и использовать практически значимую информацию, скорее исключение, чем правило в сегодняшней спортивной практике в силу трудностей, связанных с осуществлением и осмысливанием приборных количественных измерений. По-настоящему "соединить" тренеров и спортсменов с биомеханикой может лишь качественный биомеханический анализ.

#### **Использованные источники**

1. Белиц-Гейман, С.П. Сильная подача всей игре голова / С.П. Белиц-Гейман // 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. – 132с
4. Зайцева, Л.С. Биомеханические основы строения ударных действий и оптимизация технологии обучения (на примере тенниса): Автореф. дис. ... докт. пед. наук / Л.С. Зайцева. – М., 2000. – 54 с.
5. Теннис мирового класса / Под ред. П. Райтера, Д. Гроппеля; пер. с англ. М., Эксмо, 2004. – 304 с.
6. Янчук, В.Н. Теннис. Простые истины мастерства / В.Н. Янчук. М.: АСТ-ПРЕСС, 2001. – 224 с.
7. Roetert, E.P. Biomechanics of Movement in Tennis / E.P.Roetert, T.S.E1-lenbecker // ITF Coaching & Sports Science Review. 2001. – Iss. 24. – P. 11 – 21.

*Gamaly V.V., Litvinenko Y.V.*

#### **BASES OF THE QUALITATIVE BIOMECHANICAL ANALYSIS OF PHYSICAL EXERCISE ON THE EXAMPLE OF SERVE TECHNIQUE STUDYING IN TENNIS**

*The article presents quantitative and qualitative analysis of the characteristics of technology movements in the performance of skilled tennis players serve. The data enabling in-depth study of the nature and mechanisms of implementation of these movements in a competitive activity and on this basis to individualize the technical training of athletes.*

**Key words:** tennis, serve in tennis, sports technique, technical training.

*Стаття надійшла до редакції 12.09.2013 р.*

